

# RENĐŐRSÉGI TANULMÁNYOK

A RENĐŐRSÉG TUDOMÁNYOS TANÁCSÁNAK FOLYÓIRATA

## FÜREDI SÁNDOR

A magyarországi bűnügyi DNS-profil nyilvántartás találatkeresési módszerének fejlesztése

## UJVÁRI ZSOLT – METZGER MÁTÉ

A fotogrammetria kriminalisztikai alkalmazása – tudományosan megalapozott módszerek fényképezőgép segítségével történő 3D képrögzítéshez



VII. évfolyam különszám



# SZERKESZTI A SZERKESZTŐBIZOTTSÁG

## ELNÖK:

Dr. Pozsgai Zsolt rendőr vezérőrnagy

## TAGOK:

Dr. habil. Boda József nyugállományú nemzetbiztonsági vezérőrnagy

Dr. Boros Gábor rendőr ezredes

Dávid Károly nyugállományú rendőr vezérőrnagy

Dr. univ. Dsupin Ottó nyugállományú rendőr vezérőrnagy

Dr. Gárdonyi Gergely PhD

Dr. habil. Hautzinger Zoltán rendőr ezredes

Dr. Janza Frigyes nyugállományú rendőr vezérőrnagy

Prof. Dr. Kerecsi Klára MTA doktora

Prof. Dr. Kovács Gábor rendőr vezérőrnagy

Dr. Németh József PhD rendőr ezredes

Prof. Dr. Sallai János rendőr ezredes

Dr. Sipos Gyula nyugállományú rendőr vezérőrnagy

## FELELŐS SZERKESZTŐ:

Dr. Gaál Gyula PhD

## OLVASÓSZERKESZTŐ:

Dr. Molnár Katalin PhD

## MŰSZAKI SZERKESZTŐ:

Steib Norbert

## FELELŐS KIADÓ:

Dr. Németh József PhD rendőr ezredes, Rendőrség Tudományos Tanácsa elnök

## KIADÓ

Rendőrség Tudományos Tanácsa

Cím: 1139 Budapest, Teve u. 4-6.

1903 Bp. Pf.: 314/15.

Telefon: +36 1 443-5533, BM: 33-355

Fax: +36 1 443-5784, BM: 33-884

E-mail: rtt@orfk.police.hu

Webcím: www.bm-tt.hu/rtt

HU ISSN 2630-8002 (online)

## KÖZLÉSI FELTÉTELEK

A szerkesztőség olyan kéziratokat vár közlésre, amelyek a bűnmegelőzés, a bűnüldözés, a közbiztonság, a közrend, a határrendészet, a vezetés-irányítás és a mindenoldalú biztosítás kérdéseit elemzik, értékelik. A kéziratokon kérjük feltüntetni a szerző nevét, szolgálati helyét, beosztását, telefonszámát. Kérjük, hogy a cikkek szövegét e-mailben küldjék meg. A szerkesztőség a beérkezett kéziratot szakmai szempontból lektoráltatja, és fenntartja a jogot a kéziratok stilizálására, korrigálására, tipografizálására. A megjelenő írások nem a Rendőrség Tudományos Tanácsa, hanem a szerzők saját, tudományos szabadságán alapuló álláspontját képviselik. El nem fogadott kéziratot nem áll módunkban visszaküldeni. A szerkesztőség másodközlést nem vállal.

# TARTALOM

2024/különszám

**FÜREDI SÁNDOR**

A magyarországi bűnügyi DNS-profil nyilvántartás találatkeresési módszerének fejlesztése (3-77)

**UJVÁRI ZSOLT – METZGER  
MÁTÉ**

A fotogrammetria kriminalisztikai alkalmazása – tudományosan megalapozott módszerek fényképezőgép segítségével történő 3D kép-rögzítéshez (78-220)

# **SZERZŐK**

2024/különszám

**DR. FÜREDI SÁNDOR**

PhD, igazságügyi genetikus  
szakértő,  
Nemzeti Szakértői és Kutató Köz-  
pont Genetikai Szakértői Intézet

**DR. METZGER MÁTÉ**

szakügyintéző,  
Nemzeti Szakértői és Kutató Köz-  
pont Bűnügyi Igazságügyi Szakér-  
tői Igazgatóság

**UJVÁRI ZSOLT**

igazságügyi botanikus szakértő,  
Nemzeti Szakértői és Kutató  
Központ Bűnügyi Igazságügyi  
Szakértői Igazgatóság Fizikai és  
Kémiai Szakértői Intézet Ásvány  
Kőzettani és Botanikai Laborató-  
rium

**FÜREDI SÁNDOR**

## **A magyarországi bűnügyi DNS-profil nyilvántartás találatkeresési módszerének fejlesztése**

### **Absztrakt**

Az igazságügyi DNS-vizsgálatok érzékenysége az elmúlt évtizedben megvalósult folyamatos növekedése a Nemzeti Szakértői és Kutató Központban is lehetővé tette nagyon kis mennyiségű, akár látens vagy bomlott biológiai anyagmaradványok rutinszerű szakértői vizsgálatát. A kirendelő hatóságok részéről is egyre nagyobb az igény az ilyen típusú, például érintési, érintkezési, megragadási nyomok DNS-elemzésére. Ugyanakkor az ismeretlen személyi eredetű DNS-profilok egyre nagyobb hányada a bűnügyi nyilvántartásunkban jelenleg automatikusan nem kerestethető. Ennek fő oka az, hogy a nyilvántartási szoftverünk (CODIS) kizárólag csak a DNS-profilalkotó tulajdonságok (allélok) számszerű egyezését vizsgálja. Az általam kidolgozott újszerű eljárással a találatkeresés és -hitelesítés módszerét továbbfejlesztettem oly módon, hogy az elemzés már nemcsak az allélszámok egyezését, hanem az egyezést mutató alléltulajdonságok népességben való előfordulásának gyakoriságát és az allélok intenzitását is vizsgálja. E valószínűségi alapú (probabilisztikus) találatkeresési módszer alkalmazásával a nyilvántartásba kerülő ismeretlen, egy vagy több személytől származó DNS-profilokra kapott, személyazonosító CODIS-találatok számát jelentősen meg lehetett növelni.

**Kulcsszavak:** bűnügyi DNS-vizsgálat, többszemélyi eredetű (kevert) biológiai anyagmaradványok, DNS-profil nyilvántartás, találatkeresés

### **Abstract**

The steady increase in the sensitivity of forensic DNA analysis over the past decade has also enabled routine forensic testing of very small amounts

of even latent or degraded biological traces at the Hungarian Institute for Forensic Sciences. There is also an expanding demand from the authorities for DNA analysis of this type of evidence, e.g. touch, contact, grasp samples. However, an increasing proportion of unidentified DNA profiles are currently not automatically searchable in our criminal records. The main reason for this is that our databasing software (CODIS) only checks for numerical matches of DNA profile characteristics (alleles). The presented novel procedure for searching and validating matches now also looks at the peak intensity and the population frequency of matching alleles. By applying this probabilistic searching method, the number of CODIS matches obtained for unknown single source and mixed DNA profiles could be significantly increased.

**Keywords:** forensic DNA analysis, mixed biological traces, DNA database, database search

## **Bevezetés**

A Rendőrség Tudományos Tanácsának 2023. évi pályázatán III. helyezést elért pályaművem szerkesztett változatát tartja a kezében vagy látja a képernyőjén a Tisztelt Olvasó. Formai okoknál fogva és a gördülékenyebb olvashatóság érdekében az igazságügyi DNS-profil vizsgálatok és a magyarországi DNS-profil nyilvántartások bemutatásáról szóló fejezeteket e tanulmány függelékébe helyeztem át. A függelék tanulmányozása segítheti a laikus olvasót a fő szövegben használt szakkifejezések, szakmai fordulatok értelmezésében.

Az igazságügyi DNS-vizsgálatok érzékenységének az elmúlt évtizedben megvalósult folyamatos növekedése a Nemzeti Szakértői és Kutató Központban (NSZKK) is lehetővé tette nagyon kis mennyiségű, akár szabad szemmel nem látható (látens) vagy bomlott biológiai anyagmaradványok rutinszerű szakértői vizsgálatát. A kirendelő hatóságok részéről is egyre jobban növekszik az igény az ilyen típusú, például érintési, érintkezési,

megragadási nyomok DNS-elemzésére. A vizsgált bűnjeltárgyak sokszor tartalmaznak már a bűncselekmény előtt rájuk kerülő, úgynevezett háttér vagy rendszeres használói DNS-t is (Gill et al., 2020). Ezek miatt azonban a szakértői vizsgálatra kerülő biológiai anyagmaradványok jelentős részéből egyre növekvő arányban rossz minőségű egyszemélyi, illetve több személytől származtatható (úgynevezett kevert) DNS-profil mutatható ki. Ennek megfelelően az ismeretlen személyi eredetű DNS-profilok egyre nagyobb hányada a bűnügyi nyilvántartásunkban jelenleg automatikusan nem kerestethető. Ennek fő oka, hogy a nyilvántartási szoftverünk (CODIS) (URL1) kizárólag csak a DNS-profilalkotó tulajdonságok (allélok) számszerű egyezését vizsgálja. Az ilyen típusú egyszerű keresés azonban rossz minőségű, illetve kevert biológiai anyagmaradványok esetén nagyon sok véletlen (téves) egyezéssel járna együtt, amely problémára az Európai Forenzikus Intézetek Hálózatának (ENFSI) jelenleg érvényben lévő szakmai ajánlása (URL2) is felhívja a figyelmet. A téves találatok várható magas gyakorisága miatt a nyilvántartásunkban sem a múltban, sem jelenleg rossz minőségű egyszemélyi, illetve többszemélyi ismeretlen DNS-profilra, profilkomponensre nem végeztünk és nem végzünk automatikus találatkeresést. A probléma megoldása érdekében az elmúlt évtizedben a szakterület kutatói kidolgoztak és folyamatosan fejlesztenek olyan módszereket, amelyek a találatkeresés során már nemcsak az allélszámok egyezését, hanem az egyezést mutató alléltulajdonságok népszerűségben való előfordulásának gyakoriságát is vizsgálják (Bright et al., 2014; Benschop et al., 2017; Taylor et al., 2021). Ezen módszerek alkalmazása során minél ritkább allélokat érint egy találat, értelemszerűen annál valószínűbb a származás valódisága, és így az ilyen egyezés – mint a legvalószínűbb – a találati lista elejére kerülhet. E valószínűségi alapú találatkeresési módszerek [például Smart-Rank (Benschop et al., 2017)] felhasználhatóságát már az előbb hivatkozott ENFSI-ajánlás is említi. Jelenleg az NSZKK Genetikai Szakértői Intézetében két olyan szoftverrel rendelkezünk {Familias (URL3), DNAXs (Benschop et al., 2019)}, amelyek alkalmasak lehetnek valószínűségi (úgynevezett likelihood ratio, LR) alapú találatkeresésre. A Familias szoftver –

a rutin rokonságvizsgálataink alapszoftvere – képes elvégezni a valószínűségi találatkeresést félfolytonos (kvalitatív) statisztikai modellű LR-számítással. Ehhez viszont az szükséges, hogy mind a vizsgált ügyből, mind a CODIS-ból ki kell exportálni az érintett profilokat, és azokat be kell tölteni a Familias programba az egyszeri találatkeresés céljából. A kevert DNS-profilok találatkeresési projektjének elindításakor meg kellett teremteni annak a lehetőségét, hogy a Familias szoftver kezelni tudja a CODIS-profilokat. Mindezek mellett a statisztikai számításokhoz szükséges populációs allélgyakorisági adatbázist is létre kellett hozni és folyamatosan bővíteni a Familias program számára. Tekintettel arra, hogy a találatkeresést nagyszámú (több, mint 200 000) CODIS személyi DNS-profil között, tömegszűrősszerűen terveztem elvégezni, a valószínűsítési alapú találatkeresés ellenére számolni kellett a véletlen (azaz nem valós nyomhagyásból eredő) egyezések előfordulására is. Ezek hatékony kiszűrésére lehet felhasználni a DNAXs szakértői szoftver rendszert oly módon, hogy a Familias által mutatott kvalitatív egyezés a DNAXs-ben kvantitatív LR-statisztikával is vizsgálatszerűsítésre kerül. Amennyiben az allélintenzitások figyelembevételével kapott LR-érték is kellően magasnak bizonyul, illetve a számítás átmege a modellilleszkedési validációs teszten, akkor a beazonosított személy nyomhagyása a genetikai bizonyíték révén megerősíthető. Ehhez ugyanakkor a DNAXs szoftver használatát az ENFSI vonatkozó legjobb gyakorlata (URL4) szerint Intézetünkben verifikálni kellett, amely a találatkeresési tudományos projekttel párhuzamosan megvalósult (Füredi, 2023).

A kevert minták találatkeresési projektjében a vizsgálandó DNS-profilok körét két csoportra osztottam. Az egyik csoportba azok a profilok kerültek, amelyeket a bűnügyi DNS-profil nyilvántartásba korábban már feltöltöttek. Ennek a nyilvántartotti csoportnak a vizsgálata hármas célt szolgált. Az eddig ki nem mutatott egyezések megtalálásán túl kíváncsi voltam arra, hogy az LR-alapú találatkeresési módszerrel szintén kimutathatók-e azok az egyezések, amelyeket a CODIS ebben a csoportban már korábban beazonosított. Erre a CODIS-ban azért volt lehetőség, mivel ebben a DNS-



profil csoportban CODIS-találatkeresésre is alkalmas, egyszemélyi profilkomponenst tartalmazó, úgynevezett kijelölt keverékek (assigned mixture) is voltak. A Familias szoftver ugyanakkor az ilyen típusú LR-alapú keresetében nem tudja figyelembe venni az egyszemélyi DNS-profilkomponenseket, mint többletinformációt, mivel a CODIS-szoftverból a profilok ezzel a többletinformációval nem exportálhatók ki. Amennyiben ennek ellenére a Familias program a többletinformáció nélkül is képes megtalálni azt az egyezést, amit a CODIS korábban már kimutatott, akkor ez bizonyíthatja a kevert DNS-profilokban a magyarországi bűnügyi DNS-profil nyilvántartás terhelti DNS-profiljaival elvégzett LR-alapú, tömegszűrés szintű találatkeresési módszer alkalmasságát és létjogosultságát. Tekintettel arra, hogy a CODIS adatbázisában nemcsak a kevert DNS-profilok egy része, hanem a rossz minőségű egyszemélyi profilok sem vesznek részt a folyamatos és automatikus találatkeresésben, ezért célul tűztem ki azt is, hogy az LR-alapú módszerrel ezekre a profilokra is rákeressek. A rossz minőségű egyszemélyi DNS-profilokban az artefaktumok (az úgynevezett allélkiesés és -beesés) lehetősége olyan szintű, hogy ezeket a profilokat az ügyekben eljáró szakértők a CODIS típusú összehasonlításokra alkalmatlannak találták, és az ennek megfelelő CODIS-indexbe kezdeményezték a nyilvántartás kezelőjénél a profilok adatbázisba vételét. Ahogy azonban a függelékben szerepelt, a fél- és teljesen folyamatos statisztikai modellű találatkeresés figyelembe tudja venni az allélbe- és -kieséseket, kimutatva azokat a részleges egyezéseket is, ahol az összehasonlításra kerülő DNS-profilok az előbbieken említett okok miatt nem teljesen azonosak.

A kevert minták találatkeresési projektjében a vizsgálandó DNS-profilok másik csoportját értelemszerűen a még nem nyilvántartott, részben vagy teljes egészében ismeretlen személyi eredetű kevert DNS-profilok alkották. Ezek a DNS-profilok ugyan az ügyviteli és laboratóriumi információmenedzselő szoftverrendszerünk (LIMS) részét képezik 2007 óta, azonban ezek a profilok nem a CODIS-nak megfelelő (például kevert) indexekben vannak tárolva, hanem azokhoz az ügyekhez vannak csatolva, amelyek szakértése során meghatározták őket. Tekintettel arra, hogy ilyenformán a

kerestetésre alkalmas és indokolt, várhatóan nagy számú kevert DNS-profil LIMS-ből történő kinyerése rendkívül munka- és időigényes, illetve a 2019 előtt Intézetünkben vizsgált azon bűnügyeknek a jelentős része, ahol a legtöbb találat várható (vagyon elleni bűncselekmények), már valószínűleg elévült, ezért a vizsgálandó nem nyilvántartott kevert DNS-profilokat tartalmazó ügyek körét az Intézetünkbe 2019-től beérkezett ügyekre szűkítettem. Az volt a célkitűzésem, hogy éves bontásban (2019, 2020, 2021 és 2022) dolgozom fel a szóba jövő DNS-profilokat és értékelem ki a kapott találatokat a Familias és a DNAXs szoftver segítségével.

### ***A vizsgált DNS-profilok***

A vizsgált DNS-profilok darabszámra vonatkozó adatait az 1. számú táblázat mutatja be. A nyilvántartásban lévő személyi (terhelti) DNS-profilokat három időpontban (2022. 11. 29., 2023. 07. 06. és 2023. 08. 24.) bocsátotta a nyilvántartás a rendelkezésemre. Látható, hogy az idő előrehaladtával a nyilvántartásban tárolt személyi profilok száma növekszik. A teljesség igénye miatt az általam megkapott személyi DNS-profilok egy része több, esetenként különböző lokuszkészletű változatban is megtalálható volt a CODIS-ből kinyert adatsorban. Ezek olyan multiplikátumok, amelyek ugyanazoknak a személyeknek különböző időpontban és/vagy különböző kittel történő DNS-profil vizsgálati eredményei. A multiplikátumok egy-egy DNS-profil kivételével nem vesznek részt a CODIS automatikus találatkeresésében, ugyanakkor hasznosak lehetnek a kevert profilok tömegszűrés szintű kerestetésében. A táblázatban azonos színnel (kék, zöld vagy sárga) vannak jelölve azok a személyi és biológiai anyagmaradvány DNS-profilok, amelyeket egymással összehasonlítottam.

Időszak	Nyilvántartott DNS-profil (db)		Nem nyilvántartott kevert DNS-profil (db)	Személyi DNS-profil (db)
	Kevert	Rossz minőségű egyszemélyi		
- 2022.11.29.	5181	581		284 450
- 2023.07.06.				296 481
- 2023.08.24.				298 243
2019			528	
2020			669	

1. számú táblázat  
A vizsgált DNS-profilok számadatai

A CODIS-adatbázis megfelelő indexeiből a DNS-profilok tömegével ki-exportálhatók úgynevezett xml fájlformátumba. Az xml fájl egy olyan szövegfájl, amelyben egymás után egyes sorok, illetve sortömbök kódolják a DNS-profilokra vonatkozó információkat. Egy DNS-profil CODIS xml fájlja a következőképpen néz ki (csak 1 db lokusz adatait tüntettem fel):

```
<?xml version="1.0"?>
<CODISImportFile xmlns="urn:CODISImportFile-schema">
  <HEADERVERSION>3.3</HEADERVERSION>
  <MESSAGEYPE>Import</MESSAGEYPE>
  <DESTINATIONORI>HUFSD1087</DESTINATIONORI>
  <SOURCELAB>HUFSD1087 </SOURCELAB>
  <SUBMITBYUSERID>[...]</SUBMITBYUSERID>
  <SUBMITDATETIME>2023-08-24T11:58:00</SUBMITDA-
TETIME>
  <SPECIMEN SOURCEID="Yes" CASEID="DN KÓDDAL" PAR-
TIAL="false">
    <SPECIMENID>XX/YYYYYYYY</SPECIMENID>
    <SPECIMENCATEGORY>Convicted Offender</SPECI-
MENCATEGORY>
    <SPECIMENCOMMENT>--Nyilvántartásba véve "DN" kód-
dal</SPECIMENCOMMENT>
```

```
<LOCUS PARTIALLOCUS="false" KIT="COfiler">  
  <LOCUSNAME>CSF1PO</LOCUSNAME>  
  <READINGBY>[...]</READINGBY>  
  <READINGDATETIME>2005-06-02T14:30:00</REA-  
DINGDATETIME>  
  <ALLELE>  
    <ALLELEVALUE>12</ALLELEVALUE>  
  </ALLELE>  
</LOCUS>  
[...]  
</SPECIMEN>  
</CODISImportFile>
```

A *CODIS xml* fájl tartalmának összetartozó részeit a fenti szövegben azonos színnel tüntettem fel, illetve a felhasználói értelmezés szempontjából legfontosabb elemek félkövér betűtípussal vannak jelezve, és a jelentésük a következő:

**SOURCELAB:** A nyilvántartás kezelőjének a kódja, ez aktuálisan a magyarországi igazságügyi DNS-profil nyilvántartásé

**SPECIMEN:** Egy DNS-profil leírásának kezdő- és végpontja

**SPECIMENID:** Az anonim DNS-profil azonosító kódja

**SPECIMENCATEGORY:** A DNS-profil *CODIS* indexneve (a példában elítélt)

**LOCUS:** Egy lokusz leírásának kezdő- és végpontja

**LOCUSNAME:** A lokusz tudományos neve

**ALLELE:** Egy allél leírásának kezdő- és végpontja

**ALLELEVALUE:** A lokusz alléljának a típusa

A teljes DNS-profil leírásánál a zölddel és kékkel jelölt elemek annyiszor ismétlődnek megfelelő tartalommal, ahány alléleredményt tartalmazó

lokuszról áll a DNS-profil. Ehhez hasonlóan több DNS-profil együttes leírásánál a sárga-zöld-kék blokk ismétlődik a konkrét DNS-profilok adataival. Amint a fenti példából látható, a CODIS xml fájl az allélintenzitási értékeket nem mutatja, mivel azokat a CODIS-adatbázis nem tárolja.

A bűnügyekben szakértői vizsgálat alá eső biológiai anyagmaradványok nem nyilvántartott, kevert DNS-profiljait az ügyviteli LIMS szoftverünk-ből nyertem ki. Mind a CODIS, mind a Familias szoftver a vizsgálati (referencia- és biológiai anyagmaradvány) minták összehasonlítását kizárólag egy-egy darab DNS-profil összehasonlításával végzi el, azaz a vizsgálati mintát csakis egyetlen profil képviselheti. Ugyanakkor minőségbiztosítási okokból, illetve az alacsony DNS-tartalmú, kevert és/vagy bomlott anyagmaradványok esetében gyakran és véletlenszerűen előforduló, korábban részletezett allélbeesések és -kiesések miatt a vizsgálati mintákból legalább két darab (úgynevezett replikált) DNS-profilvizsgálatot végzünk. Biológiai anyagmaradványok analízise során gyakran előfordul, hogy az egy mintából meghatározott DNS-profil replikátumok alléltípusaikban és allélintenzitásaikban részben eltérnek egymástól. Az ilyen esetekben a szakértői értékelés után a DNS-profiloknak az összes alléltípusa (úgynevezett kompozit DNS-profil), vagy csak a megfelelően reprodukálódott (általában az esetek több mint felében detektálásra kerülő) része (úgynevezett konszenzus DNS-profil) kerül a DNS-profil nyilvántartásba feltöltésre vagy a Familias szoftverben összehasonlításra (Bekaert, Van Geystelen, Vanderheyden, Larmuseau & Decorte, 2012).

E tanulmány írásának időpontjáig az Intézetünkbe 2019-ben és 2020-ban beérkezett ügyeket tudtam feldolgozni. Ehhez 706 és 870 db, 2019-ben, illetve 2020-ban Intézetünkbe beérkezett olyan ügy adatait tekintetem át egyenként, amelyekben kevert DNS-profil volt kimutatható. Az érintett ügyszámokat és DNS-profil kódokat Intézetünk informatikusa a LIMS-ünkből annak alapján tudta számomra kilistázni, hogy kimutatható-e az ügyben olyan DNS-profil, amelyben legalább négy lokuszon legalább 3 allél volt detektálható. A ritka úgynevezett trialléliás (Clayton, Guest, Urquhart, & Gill, 2004) és az allélbeesési esetek kivételével egy személy egy

autoszómás STR-markeren legfeljebb két alléllal – egy apai és egy anyai típussal – rendelkezhet, így egy profilban több lokuszon legalább három db allél jelenléte már a biológiai anyagmaradvány többszemélyi eredetét jelentheti. Az ügyekben előterjesztett genetikai szakértői vélemények és DNS-nyilvántartási találati tájékoztatások áttanulmányozásával tudtam azt megállapítani, hogy a kérdéses kevert DNS-profil korábban már személyazonosítva lett-e. A korábbi személyazonosítás [pontosabban a nyomhagyás feltevésének genetikai bizonyítékkal történő (statisztikai) alátámasztása] már megtörténhetett az eljáró hatóság által megnevezett, feltételezett nyomhagyó (POI-) személy DNS-profiljával történő összehasonlítással, vagy a kevert DNS-profil kijelölt egyszemélyi komponensének nyilvántartásba való feltöltése után kapott hidegtalálattal. Amint az 1. számú táblázatban látható, a két év ügyeiben 528 és 669 db, addig még be nem azonosított kevert DNS-profil találtam, néha ügyön belül többet is. Ezeket a profilekat xml fájlba ügyenként tudtam kiexportálni a LIMS szoftverünkből. Ez úgy volt lehetséges, hogy korábban kérésre Intézetünk informatikusa és egyben a LIMS-ünk programozója be tudta kódolni az ügyviteli szoftverünkbe ezt a DNS-profil export lehetőséget is. Az ügyenként történő profilkinyerés ugyanakkor azt is jelentette, hogy a két év ügyeiből összesen 696 db xml DNS-profil fájl keletkezett, melyeknek a Familias szoftverbe való betöltése gyakorlatilag kivitelezhetetlen lett volna, mivel a szoftver egyszerre csak 1 db fájl adatait tudja beolvasni. Szerencsére a Windows Parancssorában (Command Prompt) az xml fájlok a `copy /b *.xml final.xml` paranccsal binárisan egy fájlá összefűzhetők, amely a Familias szoftverrel már kényelmesen kezelhető.

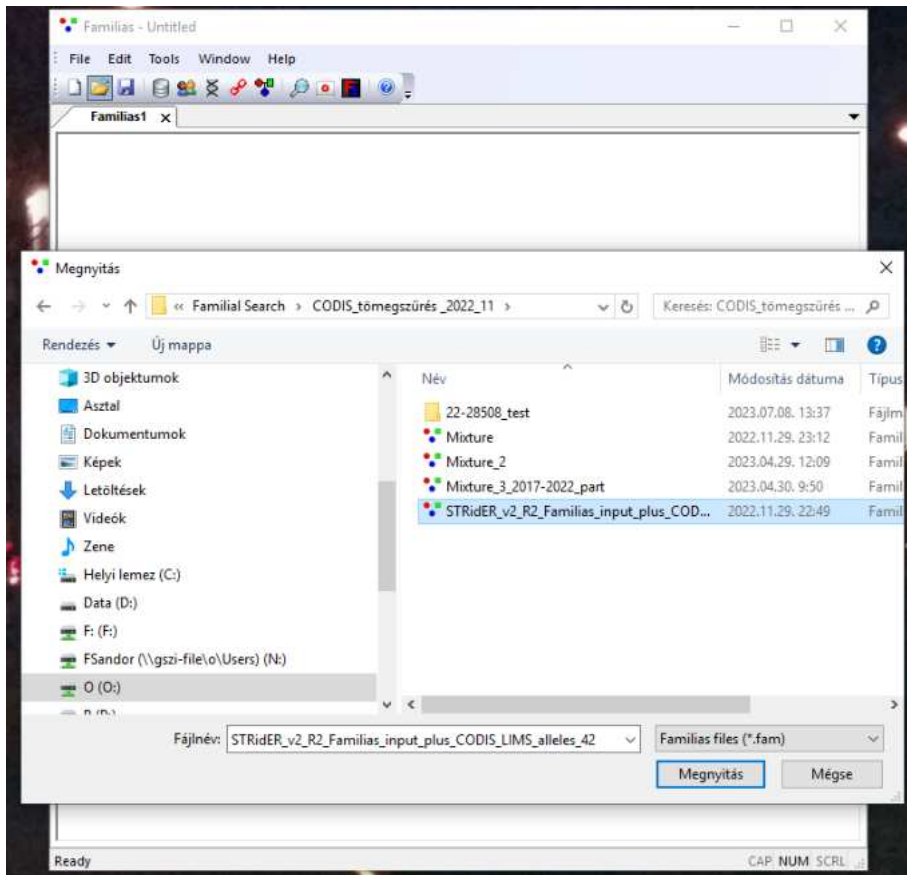
### ***Találatkeresés a Familias v3.3.1 szoftverrel***

A Familias program az igazságügyi autoszómás genetikai rokonságvizsgálatokban leggyakrabban használt ingyenes statisztikai szoftverek egyike. A szoftver tulajdonképpen egy több modulból álló programcsomag, melynek egyik része az úgynevezett rokonkeresési (Familial Searching) modul. A

rokonkeresési modul lehetőséget nyújt autoszómás genetikai profilok között meglévő közeli rokoni kapcsolatok (például szülő/gyermek, édestestvér, féltestvér) statisztikai (LR-) alapú, tömegszűrés szintű valószínűsítésére. A szoftver programozója a rokonkeresési modulban ezek mellett lehetővé tette azt is, hogy az összehasonlításra kerülő profilok közös személyi eredetét, a közvetlen egyezést (direct match) is ki lehessen mutatni fél-folytonos (kvalitatív) modellű statisztikai LR-számítás révén. A tömegszűrés szintű direct match vizsgálat csak egyszemélyi DNS-profilok, vagy egyszemélyi és többszemélyi profilok között lehetséges, tehát többszemélyi profilok így nem hasonlíthatók össze egymással. Az összehasonlításban van egy felső korlát az alléltípusok lokuszonkénti darabszámában, amely jelenleg nyolc, azaz négy személynél több személytől származó biológiai anyagmaradvány DNS-profiljával csak akkor végezhető elemzés a szoftverrel, ha a személyek alléljainak átfedése miatt a lokuszonkénti alléltípusok száma nem haladja meg a nyolcat. A Familias szoftver 2014 előtt nem tudta a CODIS xml fájlokat kezelni. Kérésre a program fejlesztője, Daniel Kling lehetővé tette a DNS-profiloknak xml fájlból történő tömeges betöltését, amivel megvalósítható vált a CODIS adatbázisok DNS-profiljaival történő tömegszűrés rokonkeresési (Kling & Füredi, 2016) és direkt találatkeresési célokból is.

A Familias-nak e tanulmányban bemutatott találatkereséshez használt 3.3.1 verziójával való munka első lépéseként a programhoz létrehoztam és folyamatosan bővítettem a vizsgált lokuszok populációs allélgyakorisági adatbázisát. Ez az adatbázis a publikus európai STRidER 2.0 allélfrekvencia adatbázison (URL5) alapul, amelyet folyamatosan kiegészítettem az általunk megfigyelt új (azaz a STRidER adatbázisából hiányzó), ritka allélok adataival. A Familias-ba beimportált allélgyakorisági adatok külön projekt- (.fam kiterjesztésű) fájlba kimenthetők, és a konkrét találatkeresési vizsgálat előtt kényelmesen visszatölthetők a szoftverbe.

## Füredi Sándor: A magyarországi bűnügyi DNS-profil nyilvántartás találatkeresési módszerének fejlesztése



1. számú ábra

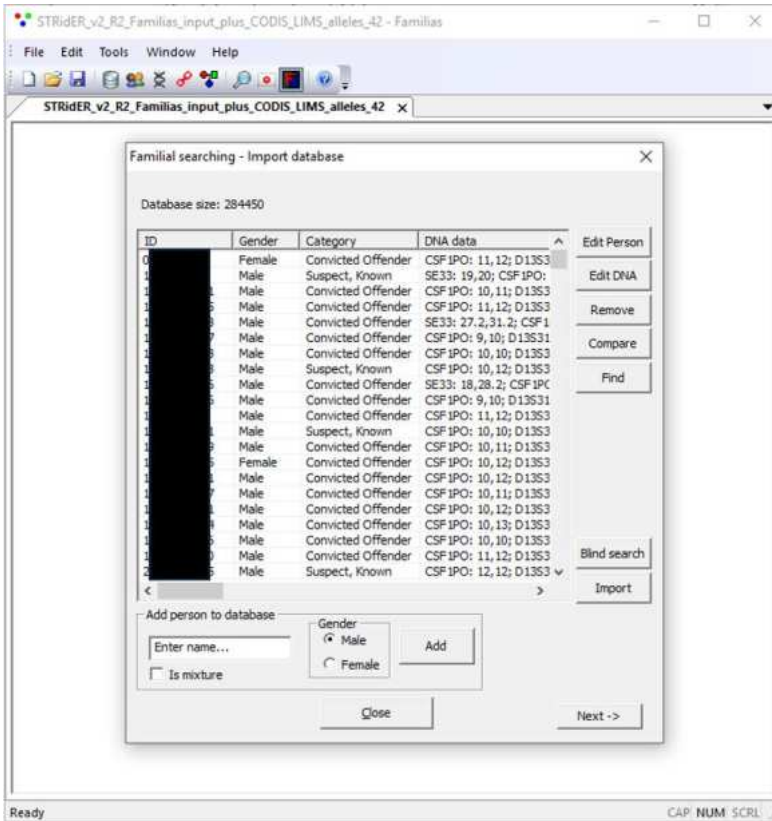
Az aktuális populációs allélgyakorisági adatbázis projekt fájl betöltése a Familias v3.3.1 szoftverbe a File/Open parancs segítségével

A találatkeresésben vizsgált személyi DNS-profilok a szoftver Tools / Familial searching menüpontjával vagy az **F** ikonnal megnyitható adatbázis ablak Import gombja segítségével tölthetők be (2. számú ábra).

Az ablak a nyilvántartott biológiai anyagmaradvány DNS-profilok kelesztéséhez használt, betöltött 284 450 db személyi DNS-profil első 21



tagját mutatja. Adatvédelmi okok miatt a személyi profilok nyilvántartási kódjai ki lettek takarva.

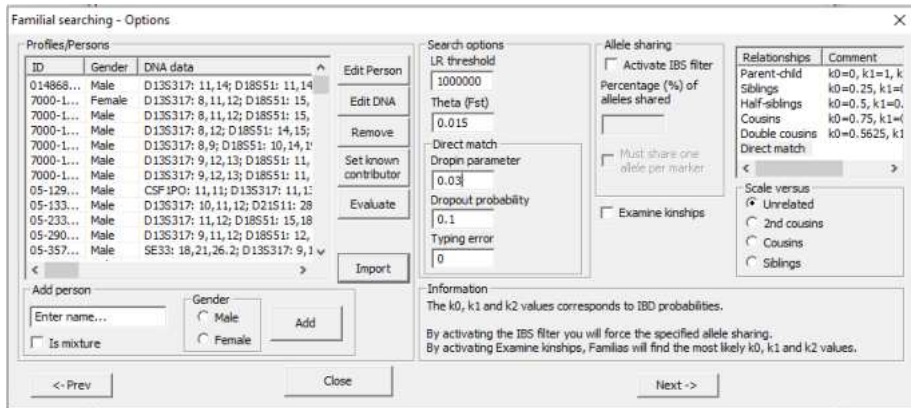


2. számú ábra

A Familias v3.3.1 szoftver Familial Searching moduljának személyi DNS-profilok betöltésére szolgáló Import database ablaka

A Next gomb megnyomásával megnyíló Options ablakban importálhatók be a biológiai anyagmaradványok DNS-profiljai az Import gomb segítségével.

Az ablak bal oldala a betöltött, nyilvántartott anyagmaradvány profilok első 12 tagját mutatja. Az ablak jobb oldalán lévő beállítások leírása a szövegben található.



3. számú ábra

A Familias v3.3.1 szoftver Familial Searching moduljának biológiai anyagmaradvány DNS-profilok importjára szolgáló Options ablaka

A 3. ábrán látható Options ablak jobb oldala találatkeresési beállításokra szolgál. A jobb felső panelben kiválasztható direkt találatok (Direct match) félfolytonos (kvalitatív) statisztikájú LR-számításához az allélbeesés valószínűségét a saját módszerverifikációnk során kapott maximum értékre, 0,03-ra (3%) állítottam, az allélkiesés valószínűségének pedig a nemzetközileg használt standard értéket, 0,1-et (10%) választottam. Annak érdekében, hogy minimalizáljam a nem valós (véletlen egyezésen vagy hasonlóságon alapuló) találatok számát, az LR-küszöbértéknek egy kellően magas számot, egymilliót használtam. A szoftver így csak azokat a DNS-profil párokat listázta ki, amelyek statisztikai összehasonlítása egymillió, vagy annál nagyobb LR-értéket eredményezett. Az  $LR = 1\,000\,000$  azt jelenti, hogy a biológiai anyagmaradvány DNS-profiljának kimutatási valószínűsége egymilliószor nagyobb akkor, ha az anyagmaradvány a POI (esetünkben az egyezést mutató nyilvántartott) személy DNS-ét tartalmazza ahhoz

képest, hogy vele rokonságban nem lévő ismeretlen személy a nyomhagyó. A közös leszármazási együtthatónak (Theta vagy Fst) a magyarországi népességre korábban meghatározott értéke (0,015) (URL6) szintén a nem valószínű találatok kiszűrését szolgálta, mivel a theta (Fst) csökkenti a kiszámított valószínűségi hányadost. A Next gomb megnyomásával nyílik meg a találatkereső Perform search ablak (4. számú ábra). Itt a Search gomb megnyomásával indítható a találatkeresés.

Az ablak a nyilvántartott biológiai anyagmaradvány DNS-profilokra kapott találatokat mutatja. A találati oszlopok jelentését a szövegben írtam le. Adatvédelmi okok miatt a személyi profilok nyilvántartási kódjai ki lettek takarva.

Database search - Perform search

Database size: 284450      Number of matches: 13

Profile/Trace	Candidate	Index	Gender	Relationship	LR	Exclusions	Overla
22-26059-002-01-H-LT/0-1 (mixture)	[REDACTED]	162364	Male	Direct-match	9.5940523e+019	0	
22-28696-002-05-H-LT/2-1 (mixture)	[REDACTED]	283506	Male	Direct-match	5.5464306e+018	0	
22-28503-001-01-H-LT/3-1 (mixture)	[REDACTED]	59081	Female	Direct-match	8.5933524e+016	0	
22-29166-001-01-H-LT/0-1	[REDACTED]	126858	Male	Direct-match	1.1810234e+016	6	
22-25468-001-04-H-LT/0-1 (mixture)	[REDACTED]	276635	Female	Direct-match	2.0112351e+015	0	
22-26988-002-01-H-LT/0-1 (mixture)	[REDACTED]	5896	Male	Direct-match	6.464439e+013	0	
22-26988-002-01-H-LT/0-1 (mixture)	[REDACTED]	128363	Male	Direct-match	4.344388e+012	0	
22-35822-002-01-H-LT/1-1 (mixture)	[REDACTED]	143574	Male	Direct-match	4.1015421e+012	0	
22-25468-001-02-H-LT/0-3 (mixture)	[REDACTED]	276635	Female	Direct-match	4.2497827e+011	0	
22-30251-002-02-H-LT/0-1 (mixture)	[REDACTED]	69885	Male	Direct-match	2.6857077e+009	1	
22-29155-001-01-H-LT/0-1 (mixture)	[REDACTED]	165508	Male	Direct-match	8.3449146e+008	2	
22-25468-001-04-H-LT/1-1 (mixture)	[REDACTED]	276635	Female	Direct-match	2.9950284e+008	0	
22-30306-003-01-H-LT/0-1 (mixture)	[REDACTED]	268313	Male	Direct-match	2.0318851e+008	0	

Search

Search

Sort

Subset

Display

Match

View match

Report match

Remove

Save summary

Export list

< Previous

Close

Database search - Perform search

Database size: 284450      Number of matches: 13

	Exclusions	Overlapping markers	Shared alleles	IBS=2	IBS=1	IBS=0	Kinship	Kappa0	Kappa1	Kappa2
3e+019	0	21	66.7%	38.1%	57.1%	4.8%				
6e+018	0	21	78.6%	66.7%	23.8%	9.5%				
4e+016	0	22	52.3%	22.7%	59.1%	18.2%				
4e+016	6	17	82.4%	64.7%	35.3%	0.0%				
1e+015	0	21	69.0%	42.9%	52.4%	4.8%				
9e+013	0	21	42.9%	14.3%	57.1%	28.6%				
8e+012	0	21	54.8%	28.6%	52.4%	19.0%				
1e+012	0	15	66.7%	33.3%	66.7%	0.0%				
7e+011	0	20	70.0%	50.0%	40.0%	10.0%				
7e+009	1	20	67.5%	50.0%	35.0%	15.0%				
6e+008	2	21	61.9%	33.3%	57.1%	9.5%				
4e+008	0	11	72.7%	45.5%	54.5%	0.0%				
1e+008	0	15	46.7%	20.0%	53.3%	26.7%				

Search: Search, Sort, Subset, Display

Match: View match, Report match, Remove

Save summary, Export list

<- Previous      Close

4. számú ábra

A Familias v3.3.1 szoftver Familias Searching találatkeresésre szolgáló Perform search ablaka két részletben

A 4. ábrán látható találati lista első, Profile/Trace oszlopa azoknak a biológiai anyagmaradvány DNS-profiloknak a kódjait mutatja, amelyekre LR-küszöbérték feletti egyezést (Relationship oszlopban Direct-match) adott a Candidate oszlopban nyilvántartási kóddal szereplő személy DNS-profilja. E személyek genetikai nemét a Gender oszlop jeleníti meg. A genetikai nem az autoszómás DNS-profil vizsgálatokhoz társított Amelogenin lokusz analízisen alapul (Akane et al., 1991). Az Amelogenin lokusz az ivari kromoszómákon helyezkedik el, és az Y-kromoszómás allélja hosszabb, mint az X-kromoszómás párja, amely méretkülönbség lehetővé teszi a két allél DNS-fragmensanalízissel történő elkülönítését, és így a mintaadó/nyomhagyó személy genetikai nemének meghatározását. A találatok aktuális LR-értékét az LR oszlop mutatja. Az Overlapping markers oszlop az összehasonlított két DNS-profil alléleredményt tartalmazó közös (átfedő) autoszómás lokuszainak számát jeleníti meg. Az Exclusions oszlopban lévő szám pedig annak az alléltípus számnak felel meg, amennyi

személyi minta allél hiányzik a biológiai anyagmaradvány eredményt mutató lokuszaiból. A találati ablakban szereplő többi adat jelen munka szempontjából nem bír jelentőséggel. Az ablakban szereplő találati lista az Export list gombbal szövegfájlba kiexportálható, amely aztán táblázatkezelő programok (például Excel) segítségével tovább értékelhető.

Az e tanulmányban leírt találatkereséseket három adagban végeztem el a nyilvántartott, valamint a 2019. és 2020. évi ügyek nem nyilvántartott biológiai anyagmaradvány DNS-profiljain a Familias szoftver segítségével. Tekintettel arra, hogy a legtöbb, nyilvántartott biológiai anyagmaradványt érintő DNS-profillal történő páros összehasonlítás mintegy 1,64 milliárd db statisztikai LR-számítást igényelt, és ehhez legerősebb asztali számítógépként egy Intel Core i5-10500 CPU @ 3.10 GHz központi proceszorú PC állt rendelkezésemre, így ez a számítássorozat több, mint egy hónapot vett igénybe. A Familias szoftver sajnos csak egy CPU magon tud számolni, és a kalkulációkhoz nem tudja igénybe venni a grafikus proceszort, ugyanakkor különállóan párhuzamosan több Familias is együtt tud futni az egyes CPU magokon, így – a rendelkezésre álló belső memória méretétől függően – több számítássorozat is elindítható ugyanazon a számítógépen.

### ***A találatok statisztikai visszaellenőrzése a DNAXs v2.5.8 szoftverrel***

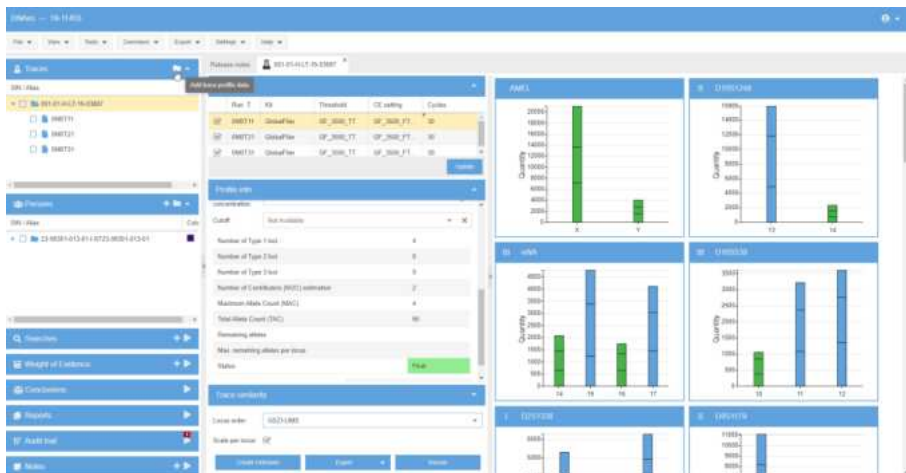
A teljesen folytonos (kvantitatív) statisztikai modellű DNS-profil kiértékelő DNAXs szakértői szoftverrendszer (Benschop, 2019) rutin szakértői gyakorlatban történő felhasználásának lehetőségeit a holland fejlesztőknek egy 2020-ben tartott webináriumban ismertem meg. A szoftver moduláris felépítésénél fogva a maga nemében egyedülálló igazságügyi szakértői szoftvercsomag (forensic expert system), mivel a laboratóriumi elemzés során meghatározott nyers DNS-profilok ügyekbe rendezve kezelhetők és értékelhetők a segítségével. Az értékelési lehetőségek és eszközök egyebek mellett magukban foglalják a DNS-profilok replikátumainak együttes ke-

zelésével történő profilvalidálást, a kompozit DNS-profil és annak konszenzus, illetve domináló (major) komponensének meghatározását, a profilok alléltípus alapján történő tömeges összehasonlítását, valamint a kvalitatív és kvantitatív statisztikájú személyazonosítási számításokat és azok eredményeinek modellilleszkedési teszten alapuló hitelesítését. Javaslatomra a DNAXs szoftvert Intézetünk beszerezte, és a program használatát bevezette a rutin szakértői gyakorlatunkban (Füredi, 2023).

Amint az a függelékben olvasható, a valószínűsítésen alapuló statisztikai genetikai személyazonosítás nem tudja kategorikusan kizárni a véletlenül alapuló DNS-profil egyezés lehetőségét. Ez a probléma, mint II. típusú (másodfajú) hiba tömegszűrés esetén fokozott mértékű lehet még félfolytonos statisztikai modellű LR-számításon alapuló találatkeresés esetén is. A találat hitelesítésének egy hatékony módszerét az allélintenzitások figyelembevételével történő statisztikai analízis jelentheti, mivel a kvalitatív számítással kapott LR-érték csak akkor marad megfelelően magas szinten, ha a biológiai anyagmaradvány DNS-profiljában az egyezést mutató feltételezett nyomhagyó személy alléljainak intenzitása összhangban van azon alléloknak egy személytől való származtathatóságával. A megfigyelt és várt allélintenzitások jelentős különbsége nemcsak az LR-értéket csökkenti, hanem a DNAXs modellilleszkedésre vonatkozó teszteredményét is negatívan befolyásolhatja.

Intézetünk informatikusa kérésre lehetővé tette a biológiai anyagmaradvány DNS-profiloknak a LIMS-ünkből DNAXs szoftverrel kompatibilis formában történő kiexportálását. A kinyert szöveges formátumú adatfájl a DNS-profilok mintakódján, lokusz- és alléltípus adatain kívül az allélok detektált jelerősségét is tartalmazza. A biológiai anyagmaradványok DNS-profiljai a DNAXs szoftver főablakának bal felső részén lévő Traces paneljében tölthetők be (5. számú ábra). A betöltött DNS-profilra vonatkozó szakmai adatok (például az elvégzett DNS-profilvizsgálat típusa, az anyagmaradvány feltételezett nyomhagyóinak száma) a főablak közepén jelenik meg, míg a DNS-profilnézetben jobb oldalon a DNS-profil lokuszainak alléloszlopdiagramjai láthatók. Minden oszlop egy-egy alléltípust képvisel,

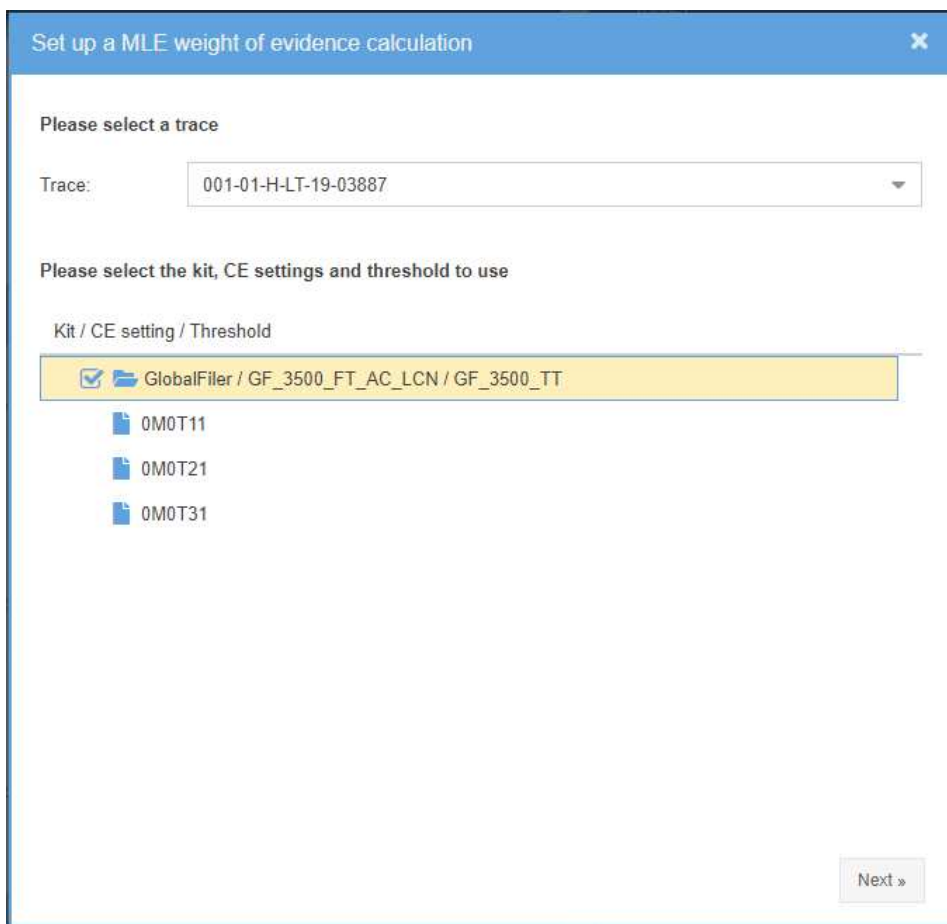
az oszlopok magassága pedig az allélok detektált intenzitását mutatja. Ha egy DNS-profil több replikátumból áll, akkor az azonos alléltípusú eredmények oszlopaikat egymásra helyezi a szoftver, így kumulálva azok allélintenzitásait, de közben vízszintes határoló vonallal jelezve az egyes replikátumok allélintenzitásainak nagyságát. A DNS-profil megfelelően replikálódott (konszenzus) allélkomponensét zölddel, a dominálón replikálódott (major) komponensét kézzel mutatja a szoftver. A nem megfelelően replikálódott allélok oszlopai piros színt kapnak. A személyi (egyszemélyi) DNS-profilok a DNAXs főablakának bal oldali középső Persons paneljében tölthetők be. Ez a panel – a Traces panelhez hasonlóan – egyelőre nem képes CODIS xml formátumú DNS-profilokat befogadni, ezért az Intézetünk informatikusa segítségével megvalósítottam a LIMS ügyviteli szoftverünkön keresztül a CODIS xml DNS-profiloknak a DNAXs-szel kompatibilis konverzióját.



6. számú ábra  
A DNAXs v2.5.8 szoftver DNS-profilnézeti főablaka

A DNAXs-ben az MLE módszerű kvantitatív statisztikai számítások a főablak bal oldalán lévő Weight of Evidence panel + gombjának megnyomásával és az MLE módszer kiválasztásával indíthatók el. A felugró ablak (7. számú ábra) Trace sorában választhatjuk ki a listából a vizsgálni kívánt biológiai anyagmaradványt. Az ablak alsó fele mutatja a kiválasztott DNS-profil laboratóriumi meghatározására és replikátumaira vonatkozó kódokat. A Next gombbal nyithatjuk meg a feltételezett nyomhagyó személy(ek) (Person) megadását és a statisztikai számítás hipotéziseinek felállítását szolgáló ablakot (8. számú ábra). Az ábrán bemutatott példában a kiválasztott személyt nyomhagyónak (DNS-donornak) tekintjük a H1 feltevésben, míg az ellenhipotézisben (H2) ő nem nyomhagyó. Az ablak alján beállíthatjuk az összes nyomhagyó személy feltételezett számát (Set number of contributors), ami ebben az esetben kettő volt mindkét hipotézisre.





7. számú ábra

A DNAXs v2.5.8 szoftver biológiai anyagmaradvány kiválasztására szolgáló ablaka az MLE módszerű kvantitatív statisztikai számításhoz

Set up a MLE weight of evidence calculation

Please add persons from the menu (if applicable)

Person: SIN Add person

Person ↑	Contributed to H1	Contributed to H2
23-99301-013-01-I-ST23-99301-013-01	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Hypothesis parameters

Approach: Set number of contributors

H1: 2 H2: 2

« Previous Advanced settings » Calculate

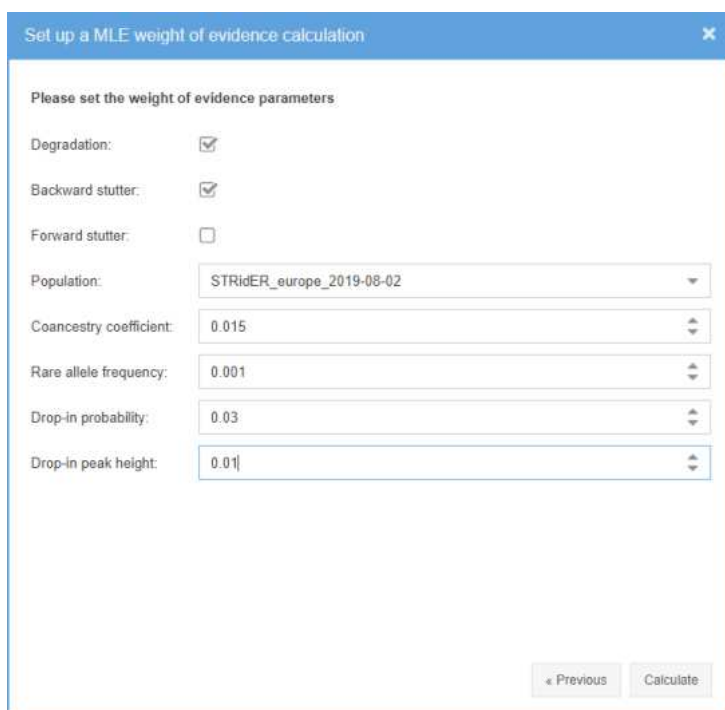
8. számú ábra

A DNAXs v2.5.8 szoftver MLE módszerű kvantitatív statisztikai számításába bevonandó POI személy(ek) megadására és a származásra vonatkozó hipotézisek felállítására szolgáló ablak

A statisztikai számítás elindítása előtt az Advanced settings gomb megnyomásával felugró ablakban (9. számú ábra) kiválaszthatjuk és beállíthatjuk a következő statisztikai modelleket és paramétereiket (az e tanulmányban leírt vizsgálatokhoz az ábrán látható beállítást használtam):

- degradációs modell be- és kikapcsolása;

- stutter (úgynevezett dadogási PCR-artefaktum) modellek be- és ki-kapcsolása;
- a populációs allélgyakorisági adatbázis kiválasztása;
- a közös leszármazási együttható értékének megadása;
- a ritka (a populációs adatbázisban nem szereplő) allélok előfordulási gyakoriságának megadása;
- az allélbeesés (Drop-in) valószínűsége;
- annak az esélye, hogy egy beesett allél intenzitása éppen megegyezik az alléldetektálási küszöbértékkel.



Set up a MLE weight of evidence calculation

Please set the weight of evidence parameters

Degradation:

Backward stutter:

Forward stutter:

Population: STRidER\_europe\_2019-08-02

Coancestry coefficient: 0.015

Rare allele frequency: 0.001

Drop-in probability: 0.03


Drop-in peak height: 0.01

« Previous Calculate

9. számú ábra

A DNAXs v2.5.8 szoftver MLE módszerű kvantitatív statisztikai számításához szükséges modellparaméterek beállítására szolgáló ablak

A statisztikai számítás a Calculate gombbal indítható el. A számítás időigénye átlagos személyi számítógépen néhány másodperctől néhány óráig terjedhet attól függően, hogy mennyire összetett a biológiai anyagmaradvány DNS-profilja, és hány db replikátummal kell a kalkulációkat elvégezni. Az átlagos számítógépek számítási korlátai miatt négynél több személytől származtatott DNS-minta teljeskörű statisztikai elemzése a DNAXs szoftverrel sem lehetséges.

A statisztikai számítások eredményei a korábban említett Weight of Evidence panel  gombjának megnyomásával jeleníthetők meg a megnyíló Weight of Evidence ablakban (10. számú ábra). Az ablakban sorokba rendezetten láthatók az egyes számításokra vonatkozó adatok és eredmények, köztük:

- a biológiai anyagmaradvány (Source) kódja;
- a felállított hipotézisekben (Hypothesis 1, 2) szereplő nyomhagyó személy(ek) kódja;
- a megállapított LR-érték;
- az alkalmazott statisztikai számítás módszere (Calculation, esetünkben MLE).



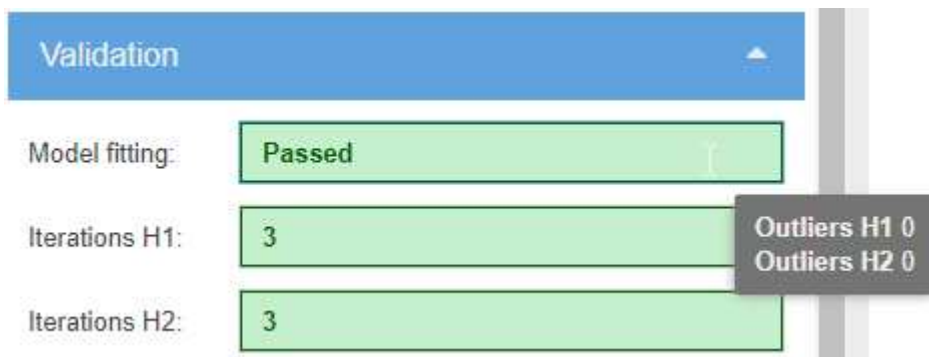
Status	ID	Source	Hypothesis 1	Hypothesis 2	Threshold 1	LR	Submitted by	Case number	Date	Run duration	Calculation	
	1526	011-01-11-L7-19-03007	23-39301-013-011-S123-30301-013-011	1 unknown	2 unknown	GF_560_YT	2.259e+19	msl	19-11405	12:00:2023 @ 18:02	00:00:01	MLE

10. számú ábra

A DNAXs v2.5.8 szoftverrel végzett statisztikai számítások eredményeit összesítő Weight of Evidence ablak

Egy Weight of Evidence eredménySORRA történő dupla egérgattintással a DNAXs főablakának középső és jobb oldali részébe betöltődnek az adott statisztikai számításra vonatkozó részletes eredmények. Ez az ablak többek között az egyes lokuszokra külön számolva is megmutatja azok LR-értékeit, illetve a felállított két hipotézisre kiszámolt paraméterértékeket, köztük – kevert DNS-profilok esetében – az ismert és ismeretlen nyomhagyó személyek DNS-ének becsült relatív arányát a több személytől származó

biológiai anyagmaradványban. A találatkeresés eredményének statisztikai hitelesítése szempontjából ezen eredményablak Validation panelje a legfontosabb, amely megmutatja, hogy vajon az elvégezett statisztikai számítás átment-e a modellilleszkedési validációs teszten (11. számú ábra).

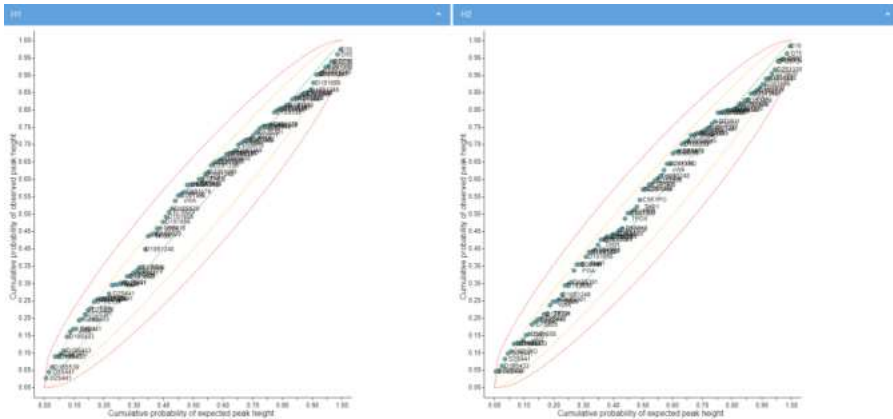


11. számú ábra

A DNAXs v2.5.8 szoftver MLE módszerű kvantitatív statisztikai számításához tartozó modellilleszkedési validációs teszteredményt bemutató panel

Amennyiben a Modell fitting vizsgálat Passed vagy Warning eredményt mutat, akkor a modellilleszkedés megfelelőnek tekinthető. Ezekben az esetekben a lokuszokon megfigyelt allélintenzitások (pontosabban azok kumulált valószínűségi értékei) – legfeljebb 2 lokusz kivételével – nem térnek el szignifikánsan a két hipotézishez megbecsült, elvárt intenzitásértékektől (12. számú ábra).

A kék pöttyök a vád (H1) és a védelem (H2) feltevéséhez kiszámolt allélintenzitási valószínűségek lokuszonként ábrázolva. A vízszintes tengely a várt, a függőleges tengely a megfigyelt allélintenzitásokra számolt valószínűségeket mutatja. A piros pöttyözött vonal által határolt terület a modellhipotézistől szignifikánsan nem eltérő megfigyelések régiója.



12. számú ábra

A DNAXs v2.5.8 szoftver MLE módszerű kvantitatív statisztikai számításához tartozó modellilleszkedési validációs teszteredmény grafikonjai

A Modell fitting vizsgálat Failed eredménye arra utal, hogy a felállított hipotézisünk (például a nyomhagyó személyére vagy a nyomhagyó személyek számára vonatkozóan) téves, vagy a DNS-profil rossz minőségénél fogva nem alkalmas kvantitatív modellű statisztikai elemzésre.

### ***A kevert vagy rossz minőségű, egy személytől származó biológiai anyagmaradványok nyilvántartott DNS-profiljaira kapott találatok***

2022. november 29-én a bűnügyi DNS-profil nyilvántartás CODIS adatbázisában szereplő összesen 5 762 db kevert vagy rossz minőségű, egy személytől származó biológiai anyagmaradvány DNS-profiljának a *Familias* szoftverrel történő kvalitatív LR-statisztikai alapú találatkeresésének eredményeképpen 1 024, illetve 67 db egyezést kaptam LR = 1 000 000 küszöbérték fölött 284 450 db személyi DNS-profillal történő összehasonlításban (2/a. számú táblázat).

a)

Nyilvántartott biológiai anyagmaradvány	Összes DNS-profil (db)	Találatot mutató DNS-profil (db)	%	Még kiadatlan találat (db)	Összes profilhoz képest (%)	Összes találathoz képest (%)
Kevert (többszemélyi)	5181	1024	20%	350	6.8%	34%
Rossz minőségű egyszemélyi	581	67	12%	28	4.8%	42%

b)

Nyilvántartott biológiai anyagmaradvány	Kiadatlan vagyron elleni találat (db)	Kiadatlan élet elleni találat (db)
Kevert (többszemélyi)	269	81
Rossz minőségű egyszemélyi	28	-

2. számú táblázat

5 762 db kevert vagy rossz minőségű, egy személytől származó biológiai anyagmaradvány DNS-profiljaira kapott találatok összesített adatai

Egyes anyagmaradvány DNS-profilok több referencia DNS-profillal is egyezést mutattak az LR-küszöbérték fölött, ezekben az esetekben csak a legmagasabb LR-értéket mutató (tudniillik a legvalószínűbb) találatot vettem figyelembe. Minden egyes találatot ügyenként kiértékeltem abból a szempontból, hogy a vizsgálatom időpontjáig az ügyben az érintett biológiai anyagmaradvány személyazonosítva lett-e az eljáró szakértő vagy a nyilvántartás részéről hideg- vagy melegtalálattal. A kiértékelés után azt kaptam, hogy a Familias szoftverrel találatot mutató kevert biológiai anyagmaradványok 66%-a, míg a rossz minőségű, egy személytől származó minták 58%-a korábban már beazonosításra került az általam is kimutatott személlyel. Az a tény, hogy ezt az ilyen számú és arányú azonosítási eredményt a korábbi eljáró szakértői, illetve CODIS találatkeresési módszertől függetlenül a Familias szoftver segítségével is el tudtam érni, igazolja ennek a kvalitatív LR-számításon alapuló statisztikai találatkeresési módszernek az érvényességét és hatékonyságát kevert vagy rossz minőségű biológiai anyagmaradványok esetében is.

A 2a táblázatban látható, hogy az esetek jelentős részében (34% és 42%) olyan találatokat sikerült kimutatnom, amelyek korábban még ismeretlenek

voltak. E biológiai anyagmaradványoknak a bűncselekmények típusával kiegészített részletes találati listáját is összeállítottam (nem közölt eredmény). A lista alapján több, mint háromszáz bűnügyben rögzített biológiai anyagmaradvány vétlen vagy elkövető nyomhagyójának személyazonosítására lenne lehetőség (2b táblázat). A beazonosított feltételezett nyomhagyók 89%-a férfi, 11%-a nő. Ez az arány hasonló, de a férfiak javára kicsit magasabb, mint a nyilvántartott férfiak részaránya, ami 83% a 2023. szeptember havi állapot szerint. A 2a táblázatban szereplő találati arányok egyben az is jelentik, hogy a CODIS találatkeresési hatékonyságát kevert minták esetében 52%-kal, míg rossz minőségű biológiai anyagmaradványok esetében 72%-kal tudtam növelni a Familias találatkeresési módszer segítségével. A kevert biológiai anyagmaradványokat érintő, még kiadatlan találatok 77%-a vagyon elleni, 23%-a élet elleni bűncselekményben volt kimutatható. A nyilvántartott rossz minőségű egyszemélyi DNS-profilok eddig ismeretlen találati kizárólag vagyon elleni ügyekben keletkeztek. Az összes, még ki nem adott találat bűncselekménytípusonkénti eloszlását a 3. számú táblázat tünteti fel.



Bűncselekmény típus	Arány
Lopás	66.4%
Rablás	9.5%
Jármű önkényes elvétele	3.7%
Testi sértés	2.9%
Szexuális bcs.	2.4%
Emberölés	2.1%
Kábítószerrel elkövetett bcs.	2.1%
Hamisítás	1.6%
Kifosztás	1.6%
Csalás	0.8%
Orgazdaság	0.8%
Rongálás	0.8%
Zsarolás	0.8%
Embercsempészes	0.5%
Garázdasság	0.5%
Közveszéllyel fenyegetés	0.5%
Robbanóanyaggal visszaélés	0.5%
Zaklatás	0.5%
Eltűnés	0.3%
Ittas járművezetés	0.3%
Kapcsolati erőszak	0.3%
Lőfegyverrel visszaélés	0.3%
Nem azonosítható	0.3%
Orvvadászat	0.3%
Segítségnyújtás elmulasztása	0.3%

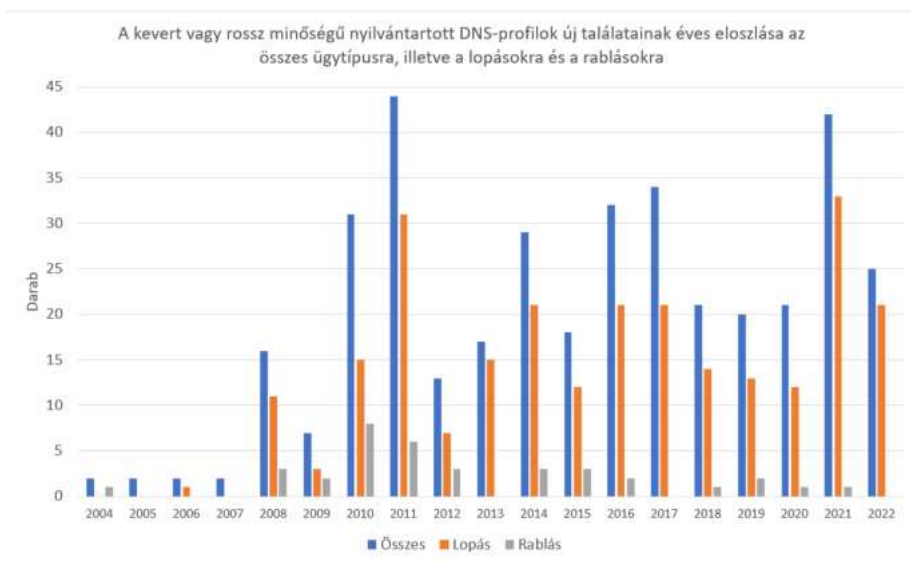
3. számú táblázat

A kevert vagy rossz minőségű egyszemélyi biológiai anyagmaradványok nyilvántartott DNS-profiljaira Familias szoftverrel kapott, eddig még nem ismert találatainak bűncselekménytípusonkénti eloszlása csökkenő sorrendben

A találati lista legelején toronymagasan a lopás áll, ami nem meglepő, mivel egyrészt a lopás bűnügyekből (mint ügynevezett tömegügyekből) kerül összességében a legtöbb biológiai anyagmaradvány DNS-vizsgálatra. Másrészt ezekben az ügyekben (főleg a sok érintkezési nyom miatt) ebben

az ügytípusban a legnehezebb a nyomhagyó hagyományos nyomozati vagy szakértői módszerekkel történő beazonosítása. Örvedetes tény, hogy 2% feletti találati arányt kaptam több súlyosabb bűncselekménytípusban is, jelesül rablásban (9,5%), testi sértésben (2,9%), szexuális bűncselekményekben (2,4%), emberölésben és kábítószerrel kapcsolatos bűnygyekben (mindkettő 2,1%).

A 2022. évhez 2022. november 29-ig állt rendelkezésre adat.



13. számú ábra

A kevert vagy rossz minőségű egyszemélyi biológiai anyagmaradványok nyilvántartott DNS-profiljaira Familias szoftverrel kapott, eddig még nem ismert taláatainak éves eloszlása az összes ügytípusra, illetve a lopásokra és rablásokra vonatkozóan

Az összes találatot, illetve a legtöbb találatot adó két ügytípusra, a lopásra és rablásra kapott találatokat éves bontásban is kiértékeltem (13. számú ábra). A bünygyi DNS-profil nyilvántartásunk szakrendszereinek beüzemelési évétől, 2004-től kezdve Intézetünkbe mindegyik évben beérkezett ügyekben ki tudtam mutatni eleddig ismeretlen találatokat, 2008-tól kezdve már nagyobb számban. Ennek valószínűsíthető oka a vizsgált és

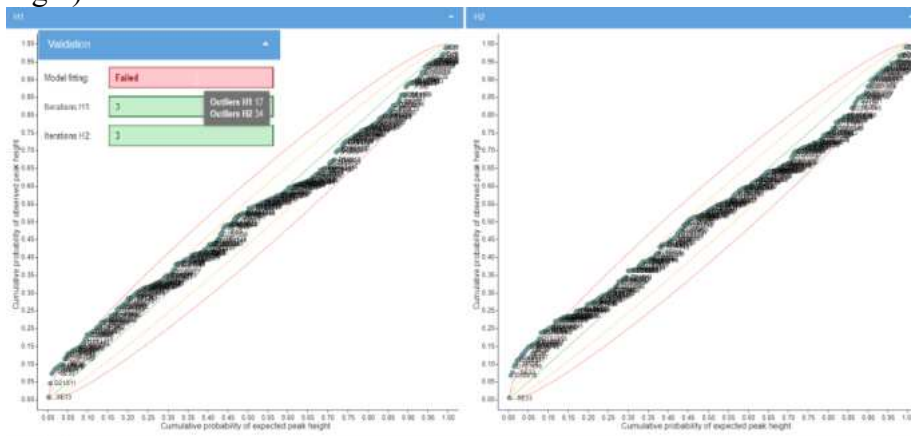
nyilvántartásba kerülő kevert vagy rossz minőségű DNS-profilok számának szignifikáns növekedése ettől az évtől kezdve. Míg az összes találatához képest a lopás ügyek találatai egymáshoz viszonyítva hasonló arányt mutatnak az egyes években, a rablások esetén a fluktuáció nagyobb. A 13. ábrán bemutatott találati statisztika alapján, ha és amennyiben lényegesen nem változik meg a közeljövőben a DNS-profil nyilvántartásba kerülő biológiai anyagmaradvány profilok mennyisége, minősége és ügytípusa, akkor az ebben a tanulmányban bemutatott új találatkereső módszer segítségével évente kb. 15-35 nyilvántartott ügyben (köztük kb. 10-20 lopásban és kb. 1-3 rablásban) várható olyan, a feltételezett nyomhagyót beazonosító egyezés, amely a hagyományos CODIS-kerestetéssel nem lenne kimutatható. Ez egyben azt is jelenti, hogy az új módszer alkalmazásával a nyilvántartásba kerülő DNS-profilokra kapott CODIS-találatok száma kb. 5-10%-kal lenne növelhető éves viszonylatban.

***A 2019. és 2020. évi ügyek kevert biológiai anyagmaradványainak nem nyilvántartott és eddig be nem azonosított DNS-profiljaira kapott találatok***

A 2019-ben és 2020-ban Intézetünkbe összesen beérkezett 3 142, illetve 3 181 db büntető-, körözési és közigazgatási ügy közül 706, illetve 870 db ügyben mutattunk ki kevert DNS-profilt (1. számú táblázat). Az ügyek áttekintése után 528, illetve 669 db olyan részben vagy teljes egészében ismeretlen személyi eredetű kevert profilt találtam, amelyek rossz minőségűknél és/vagy kevert jellegüknél fogva nem kerültek be a DNS-profi nyilvántartásba, viszont szakmailag és az ügyadatokból kiolvastva potenciálisan nyomozatilag relevánsak lehetnek a Familias szoftver alapú találatkeresésre. A CODIS személyi DNS-profilokkal összehasonlításban elvégezve a találatkeresést 101, illetve 167 db profilra kaptam kecsegtető biológiai anyagmaradvány/személy direkt találatot. A beazonosított feltételezett nyomhagyók 87%-a férfi, 13%-a nő, ami nagyon hasonló a nyilvántar-

tott DNS-profilokra kapott férfi/női találati arányhoz (89 és 11%). A központi nyomozó szervtől kapott visszajelzés alapján a 2019. évi ügyek 101 db találatából 48 db DNS-profil érintő 45 db ügyben még nem történt vádemelés, elévülés vagy megszüntetés 2023 augusztusáig. Ezekben az ügyekben az egyezéseket kvantitatív LR-statisztikai vizsgálatnak is alávettem a DNAXs szoftver segítségével. Az esetek döntő többségében (41 db találat, 85%) az egyezést a DNAXs elemzés meg tudta erősíteni. Két esetben (4%) a DNAXs statisztika bizonytalan eredményt mutatott az alacsonyabb LR-érték vagy a nem teljesen megfelelő modellilleszkedés miatt (14. számú ábra), és ennek okán a nyomhagyás megbízható megerősítéséhez kiegészítő DNS-vizsgálatra lenne szükség a vizsgálati minták Intézetünkben tárolt maradékán vagy DNS-preparátumán.

Mindkét hipotézis megbukott a teszten, mivel mindkét esetben több, mint 3 lokusz (outliers) allélintenzitási valószínűségi értékei kívül estek a még elfogadható szignifikancia-területen (piros pöttyözött vonallal határolt régió).



14. számú ábra

A Familias szoftverrel kapott egyik találati eredmény kvantitatív statisztikájú DNAXs-vizsgálattal történő modellilleszkedési validációs tesztjének negatív eredménye

5 db találatot (10%) DNAXs számítással nem lehetett visszaigazolni a kapott nagyon alacsony LR-értékek miatt. A tévesnek tekinthető Familias

alapú azonosítások nem meglepő módon kizárólag a találatkeresésre kerülő lehető legbonyolultabb, 4 személytől származtatható DNS-profilokat érintették. A megerősített és laboratóriumi megerősítésre váró találatokat mutató biológiai anyagmaradványok nyomhagyóinak becsült átlagos száma 2,7; a beazonosított személyek DNS-ének becsült átlagos részaránya a keveredésekben 50% (4. számú táblázat kék színű sorai). Ezek a számok arra utalnak, hogy az általam bemutatott új találatkereső módszer bevetése leginkább legfeljebb 3 személytől származó, és az azonosítandó személy DNS-ét nem alacsony részarányú komponensként tartalmazó kevert biológiai anyagmaradványok esetében lehet nagyon hatékony.

Füredi Sándor: A magyarországi bűnügyi DNS-profil nyilvántartás találatkeresési módszerének fejlesztése

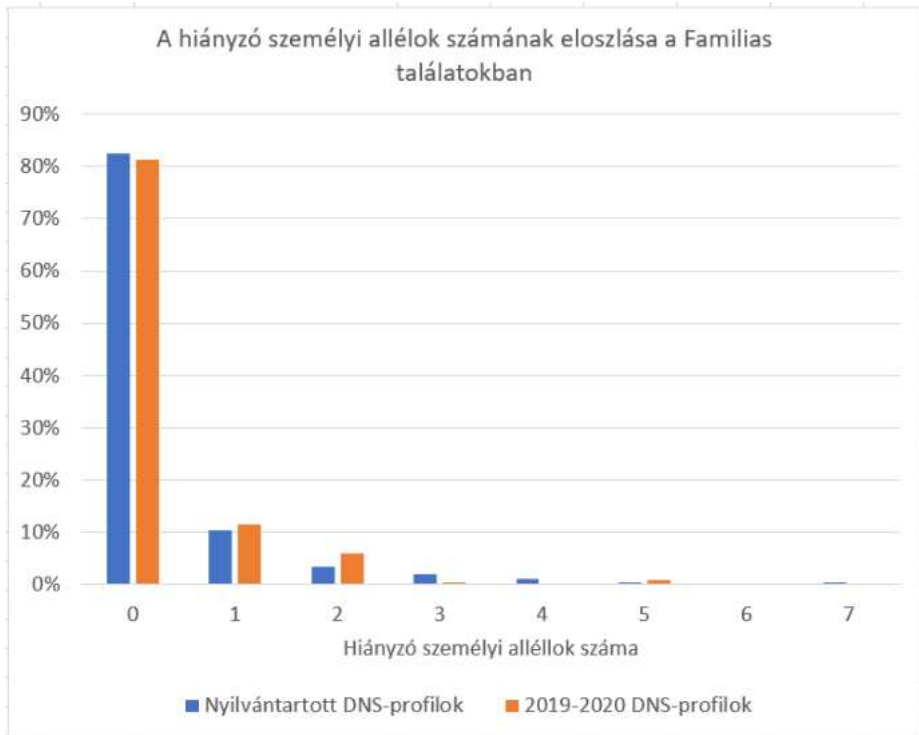
	2019 (db)	2020 (db)	Összesen (db)	Összesen (%)
Beérkezett ügyek száma	3142	3181	6323	
Kevert DNS-profilú ügyek száma	706	870	1576	24.9%
Azonosítatlan, nem nyilvántartott, kevert DNS-profilok száma	528	669	1197	18.9%
<i>Familias</i> találat	101	167	268	4.2%
<i>Familias</i> találat lezáratlan ügyekben	48			
<i>DNAxs</i> -szel megerősített találat lezáratlan ügyekben	41			85.4%
<i>DNAxs</i> -szel megerősített, de tovább vizsgálendő találat lezáratlan ügyekben	2			4.2%
<i>DNAxs</i> -szel nem visszaigazolható találat lezáratlan ügyekben	5			10.4%
A megerősített és laboratóriumi megerősítésre váró találatokat mutató biológiai anyagmaradványok nyomhagyóinak becslés- átlagos száma	2.7			
Beazonosított személyek DNS-ének becslés- átlagos részaránya a keveredésekben	0.5			
lopás ( <i>Familias</i> találat)	66	96	162	60.4%
emberölés ( <i>Familias</i> találat)	5	13	18	6.7%
kábítószer-kereskedelem ( <i>Familias</i> találat)	7	5	12	4.5%
rablás ( <i>Familias</i> találat)	3	9	12	4.5%
testi sértés ( <i>Familias</i> találat)	5	6	11	4.1%
csalás ( <i>Familias</i> találat)	4	6	10	3.7%
pénzhamisítás ( <i>Familias</i> találat)	0	10	10	3.7%
szexuális erőszak ( <i>Familias</i> találat)	1	4	5	1.9%
emberölés kísérlet ( <i>Familias</i> találat)	0	4	4	1.5%
kábítószer birtoklás ( <i>Familias</i> találat)	2	2	4	1.5%
kifosztás ( <i>Familias</i> találat)	0	4	4	1.5%
garázdaság ( <i>Familias</i> találat)	0	3	3	1.1%
jármű önkényes elvétele ( <i>Familias</i> találat)	2	1	3	1.1%
lőfegyverrel vagy lőszerral visszaélés ( <i>Familias</i> találat)	2	1	3	1.1%
rongálás ( <i>Familias</i> találat)	2	1	3	1.1%
személyi szabadság megsértése ( <i>Familias</i> találat)	0	2	2	0.7%
általános közigazgatási rendtartás ( <i>Familias</i> találat)	1	0	1	0.4%
magánlaksértés ( <i>Familias</i> találat)	1	0	1	0.4%

4. számú táblázat

A 2019. és 2020. évben Intézetünkbe beérkező büntető-, körözési és közigazgatási ügyek több személytől származó biológiai anyagmaradványainak nem nyilvántartott és eddig be nem azonosított DNS-profiljaira kapott találatok adatai

A kevert DNS-profilokban a *Familias* szoftverrel történő tömegszűrés-szintű találatkeresés módszertanának optimalizációja és a találati eredmények pontosabb értelmezhetősége érdekében megvizsgáltam, hogy kimutatható-e összefüggés az egyezést mutató DNS-profilok közös (átfedő) lokuszainak száma, illetve a biológiai anyagmaradvány DNS-profiljából esetlegesen hiányzó személyi allélok száma és a kapott LR-értékek között.

Elméleti megfontolások alapján minél több lokuszon minél kevesebb allélhiánnyal mutatható ki egyezés, annál nagyobb lehet az LR értéke. Természetesen ezt jelentősen befolyásolhatja az egyező alléloknek a népességben való előfordulási gyakorisága, hiszen gyakoribb allélokra alacsonyabb LR-érték várható a statisztikai számítások eredményeképpen. A Familias szoftverrel találatokat mutató biológiai anyagmaradványok DNS-profiljaiból esetlegesen hiányzó személyi allélok eloszlása nagyon hasonló a nyilvántartott, illetve a 2019. és 2020. évi ügyek nem nyilvántartott, korábban beazonosítatlan DNS-profiljai között (15. számú ábra). Mindkét sorozatban a találatok döntő többségében (83, illetve 81%) az egyezést mutató személyi DNS-profil összes allélja megtalálható volt a biológiai anyagmaradvány DNS-profiljában. Ugyanakkor az esetek nem elhanyagolható részében (17, illetve 19%) legalább egy személyi allél hiányzott az anyagmaradvány profiljából. A hiányzó allélok száma folyamatosan csökkenő gyakorisággal egytől hétig terjedt. Ha és amennyiben a CODIS-adatbázis képes is lenne ezeket a találatokat kimutatni, akkor is a detektált allélhiányok egyben a DNS-profil nyilvántartási törvények által megszabott azonosság hiányát is jelentenék a jogszabályok szigorúbb értelmezése szerint, megnehezítve ezen részleges egyezéseknek a büntetőügyek nyomozása és bizonyítása során történő hasznosítását.



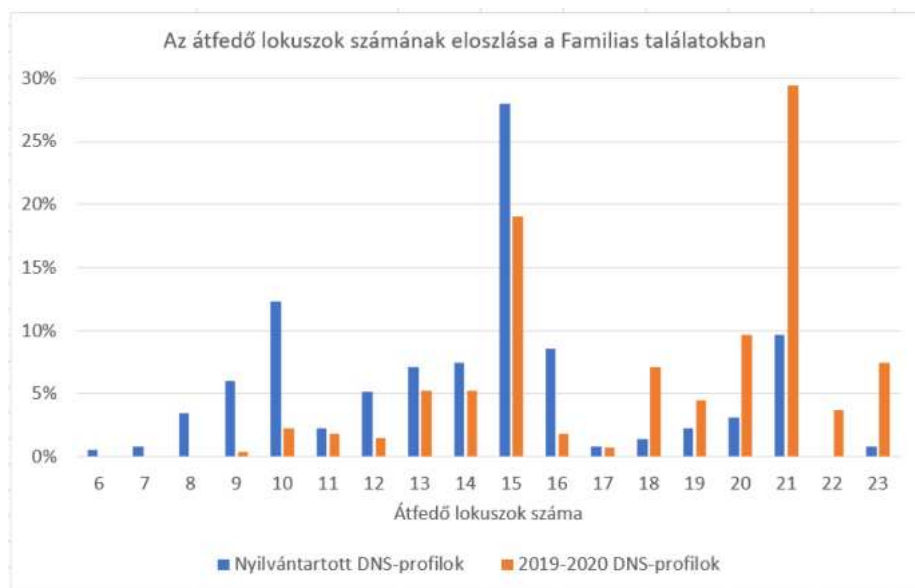
15. számú ábra

A Familias szoftverrel találatokat mutató biológiai anyagmaradványok DNS-profiljaiból esetlegesen hiányzó személyi allélok eloszlása a nyilvántartott, illetve a 2019. és 2020. évi ügyek nem nyilvántartott, korábban beazonosítatlan DNS-profiljai között

A Familias-vizsgálatban találatot adó DNS-profil párok közös (átfedő) lokuszainak száma részben eltér a nyilvántartott, illetve a 2019. és 2020. évi ügyek nem nyilvántartott, korábban beazonosítatlan DNS-profiljai között (16. számú ábra). 6-23 lokuszátfedéssel kaptam egyezéseket, melyben a nyilvántartott profilok találatainál a 6-15 lokuszos átfedések (73%-ban), míg a 2019-2020. évi ügyek profiljainál a 15-23 lokuszos átfedések (84%-ban) domináltak. Ez az eltérés egyértelműen arra vezethető vissza, hogy a 2019. év előtti ügyekben a DNS-profilok meghatározása kevesebb lokuszra terjedt ki. A 16. számú ábra adatsorában 3 kiugró lokuszátfedési érték (10,



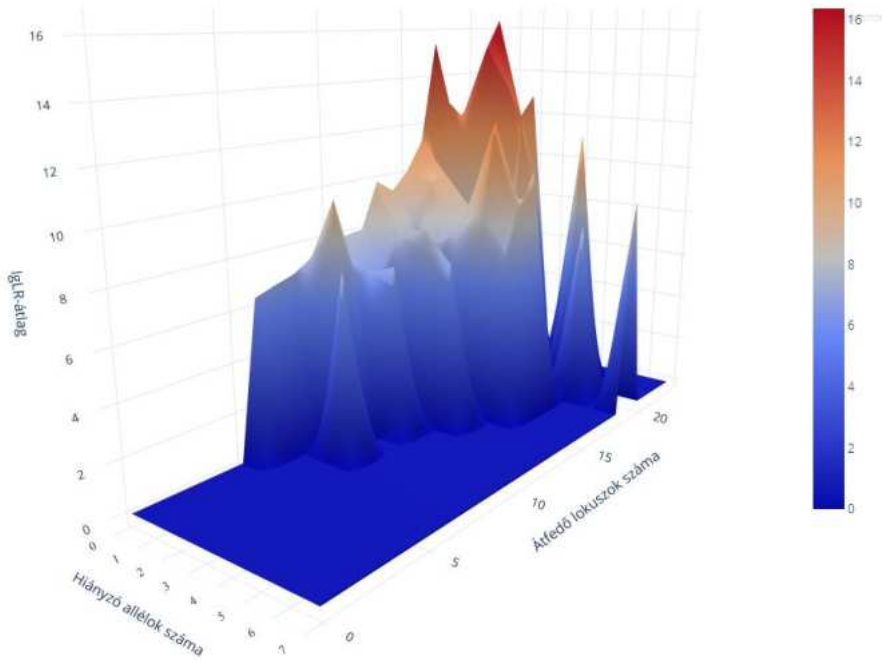
15, 21) figyelhető meg, ezek a 2004-2020. között a biológiai anyagmaradványok DNS-profil vizsgálatához legtöbbször használt, időben egymást felváltó vegyszerkitek (SGM Plus, NGM SElect, Globalfiler) által elemezhető STR-lokuszek számainak felelnek meg.



16. számú ábra

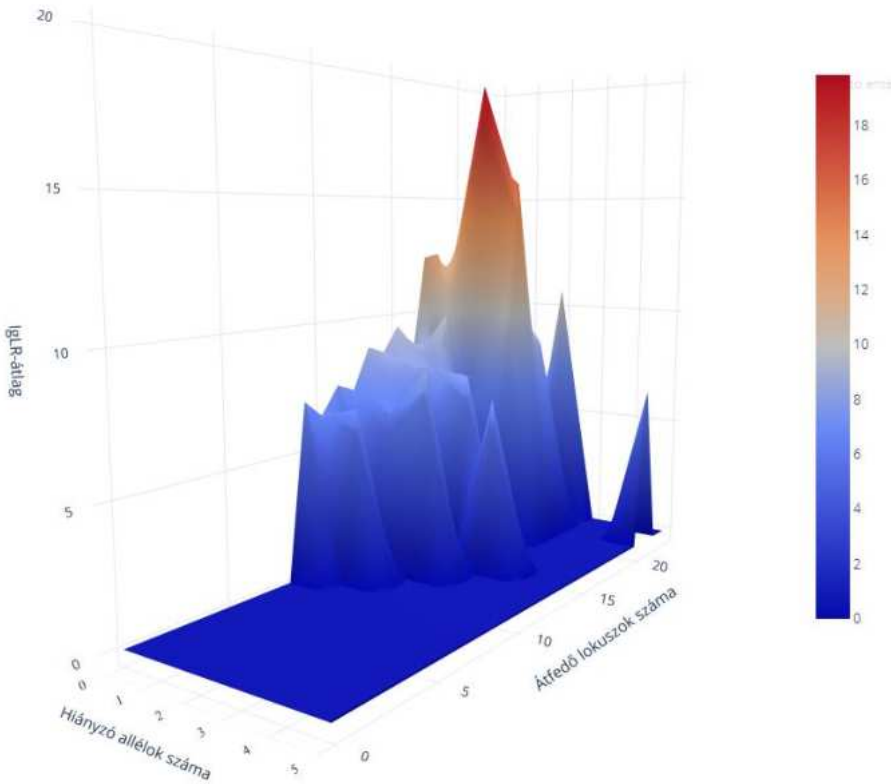
A Familias szoftverrel találatokat mutató DNS-profil párok közös (átfedő) lokuszszámának eloszlása a nyilvántartott, illetve a 2019. és 2020. évi ügyek nem nyilvántartott, korábban beazonosítatlan DNS-profiljai között

A Familias szoftverrel egyezést mutató DNS-profilok közös (átfedő) lokuszainak száma, illetve a biológiai anyagmaradvány DNS-profiljából esetlegesen hiányzó személyi allélok száma és a kapott LR-értékek közötti összefüggés vizsgálata során, ha egy átfedő lokuszszám/hiányzó személyi allélszám párhoz több LR-érték társult, akkor ahhoz a párhoz a hozzájuk tartozó LR-értékek tízes alapú logaritmusának átlagát rendeltem, mint arra a párra jellemző LR-számot. A logaritmizálásnak az az oka, hogy a nagyobb LR-értékek esetében azok nagyságrendje számít igazából a személyi származtatás megbízhatóságának statisztikai számításon alapuló szakértői értékelésénél. Az LR-értékek nagyságrendjét pedig azok logaritmusai fejezi ki. A 17. és 18. számú ábra 3D grafikonjai egymáshoz hasonló trendeket mutatnak a nyilvántartott és a 2019–2020. évi nem nyilvántartott, korábban beazonosítatlan kevert DNS-profilok Familias találataihoz tartozó lgLR-átlagok eloszlásában. A biológiai anyagmaradványok kevert DNS-profiljaiból hiányzó személyi allélok számának csökkenésével és a találatot mutató DNS-profilokban a közös (átfedő) lokuszok számának növekedésével a lgLR-átlagok – néhány kilengéstől eltekintve – növekszenek. Ezen felül minél több az átfedő marker, annál nagyobb az esélye annak, hogy több személyi allél hiányában is meghaladja a vizsgált DNS-profil párra kapott valószínűségi hányados a felállított egymilliós LR-küszöbértéket. A vizsgálat sorozatomban megfigyelt találatok lgLR-értékek átlagai tehát megfeleltek az elméletileg vártaknak, ami egyben azt is jelenti, hogy a DNS-vizsgálatok során az analizált lokuszok számának emelése előnyös a valós találatok megbízható azonosításában, ugyanakkor ezekben az esetekben a személyi allélok hiánya is gyakrabban és nagyobb mértékben fordulhat elő.



17. számú ábra

Nyilvántartott, korábban beazonosítatlan kevert DNS-profilok Familias találatainak lgLR-átlagai az átfedő lokuszok és a hiányzó allélok számának függvényében



18. számú ábra

2019–2020. évi nem nyilvántartott, beazonosítatlan kevert DNS-profilok Familias találatainak lgLR-átlagai az átfedő lokuszok és a hiányzó allélok számának függvényében

A Familias szoftverrel a 2019. és 2020. évi ügyekben kapott találatokat érintő ügytípusok eloszlása hasonló összképet mutatott a nyilvántartott DNS-profilokra korábban megállapított egyezések ügytípusaihoz képest (4. számú táblázat zöld sorai és 3. számú táblázat). A lopás ügyek itt is hasonló arányban (60%) domináltak, és a 2% vagy afeletti részarányú ügytípusok között ebben a vizsgálatsorozatban is megtalálható volt az emberölés, a kábítószerrel elkövetett bűncselekmény, a rablás, a testi sértés és a

szexuális bűncselekmény. Ezek az eredmények azt mutatják, hogy a nyilvántartásba be nem kerülő beazonosítatlan kevert DNS-profilok esetében is a lopás ügyekben lehetne a legtöbb személyazonosítást elérni az új találatkereső módszer segítségével, és mindemellett évente várhatóan 20–30-cal több, súlyosabb bűncselekményben (köztük emberölésben) tudnánk beazonosítani a vétlen vagy elkövetői ismeretlen nyomhagyót a módszer CODIS-kerestetést kiegészítő alkalmazásával. A 2020. és 2021. évek ügyeinek találati adatait és a Familias-alapú találatkeresésnek a 2019. évi ügyekben kapott 10%-os potenciális tévesztését (mint II. típusú, másodfajú hibát) alapul véve évente átlagosan kb. 110-120 olyan ügyben tudnánk sikeres személyazonosítást végrehajtani a nem nyilvántartott többszemélyi eredetű DNS-profilokra vonatkozóan, amely profilokon a jelenlegi személyazonosító módszereink nem vezetnének eredményre. A 110-120 db ügy az Intézetünkbe beérkező, összesen 3 000 körüli büntető-, körözési és közigazgatási ügyhöz képest nem tűnik soknak. Ugyanakkor, ha a 110-120 db ügyhöz hozzáadjuk azt az évi mintegy 15-35 db azonosítást, amit a nyilvántartott DNS-profilok várható találataira becsültünk meg korábban, és figyelembe vesszük azt, hogy évente jelenleg átlagosan 400 körüli egyezést mutat ki a CODIS-adatbázis, akkor a 125-155 darabos találati növekmény 31-39%-os emelkedést jelent az ismeretlen biológiai anyagmaradványok DNS-profil nyilvántartás segítségével történő személyazonosításában. Ez véleményem szerint számottevő fejlesztési eredmény a magyarországi bűnügyi DNS-szakértői vizsgálatok területén.

### **További feladatok, tervek és célok**

Az igazságügyi genetikai vizsgálatok technológiájának fejlődése folyamatos szakmai, jogi és etikai kihívások elé állítja az igazságszolgáltatás szereplőit (Nogel, 2019; Pádár et al., 2020; Smith & Singh, 2024), amely aspektusokat a DNS-vizsgálatok eredményeinek interpretációja, a találatkeresés és azok fejlesztése során is figyelembe kell venni.

A nem nyilvántartott ismeretlen személyazonosságú kevert DNS-profilok közül eddig a 2019. és 2020. évben Intézetünkbe beérkezett ügyekre vonatkozóan tudtam a Familias szoftver alapú találatkeresést elvégezni. A találatkeresést a 2020 után beérkezett ügyekben is folytatni szeretném. Egy adott év DNS-profiljait utólag a következő év második felétől érdemes vizsgálni, mert akkora már nagy valószínűséggel befejeződtek a szakértői munkák az előző év ügyeiben. A központi nyomozóhatósággal való együttműködésben a még aktuális ügyekben el szeretném végezni a találatok kvantitatív modellű statisztikai számításra alapuló megerősítését a DNAXs szoftver segítségével.

A tanulmányomban bemutatott LR-alapú találatkeresési módszernek a folyamatban lévő ügyekben történő, rutinszerű végrehajthatósága szempontjából az egyik legfontosabb feladat a DNAXs és a CODIS szoftver közötti adatkapcsolat létrehozása. Ezt a DNAXs-t kifejlesztő holland Nemzeti Forenzikus Intézet (NFI) olyan informatikai környezetben valósította meg, ahol a DNAXs szakértői ügyprojektjeinek adatbázisa, a statisztikai számításokat végző szoftvermodulok, valamint a találatkereső (SmartRank vagy ProbeRank) modul (Benschop et al., 2017; Hoogenboom, Sijen & Benschop, 2023) szerveren, szervercsoporton (cluster) vagy tárolókon (containers) fut. Sajnos Intézetünk jelenlegi szerverparkja nem teszi lehetővé a számításokat végző DNAXs szoftvermodul (DNAStatistX) szervercsoporton történő futtatását, illetve egyetlen szerver nem tudná egyszerre kiszolgálni az összes aktuális ügyünkben keletkező számítási igényeket. Ez jelenleg csakis a szakértők személyi számítógépein, önálló (standalone, ti. nem szerver) DNAXs üzemmódban valósítható meg. Ugyanakkor kérdéssemre az NFI specialistái lehetségesnek tartják kizárólagosan a kereső (SmartRank vagy ProbeRank) modul szerver üzemmódba állítását, és így a CODIS-ba történő központosított bekérdezés lehetőségét. Ennek a lehetőségnek a megvalósítása az Intézetünkben informatikai fejlesztést igényelne, amelynek az esetleges hardver, szoftver és humán erőforrás szükséglete még meghatározásra vár. A fejlesztés megvalósulása esetén a nyil-

vántartási szakértők a CODIS-ban képesek lennének a DNAXs program segítségével a rossz minőségű és/vagy kevert DNS-profilokon történő egyszeri találatkeresésre a szakértői vélemények kiadása előtt. Jelenleg is hasonlóan történik ez az egyszeri kerestetés az egyszemélyi DNS-profilokkal a LIMS-ünk és a CODIS között.

További szakmai feladatot jelent a nyomhordozókon lévő háttérszennyeződés és a rendszeres használók DNS-ének alaposabb feltérképezése annak érdekében, hogy a nyilvántartásban történő találatkereséssel beazonosított személy nyomhagyásának módja és így annak a bűncselekményben betöltött – véltlen vagy elkövetői – cselekvési szerepe pontosabban meghatározható legyen (Gill et al., 2020; Reither et al., 2023). Ugyanez érvényes a biológiai anyagmaradványok közvetítő személyen vagy tárgyon keresztül történő indirekt átkerülésére is (Sessa et al., 2023).

A jogszabályi háttérrel illetően indokolt és szükséges lenne a magyarországi nyilvántartási törvényeknek olyan szövegmódosítása, amely a találatok kimutatásának és az érintett hatóságokkal való közlésének szakmai feltételét a jelenlegi „azonosság” szó helyett például a „teljes vagy részleges egyezés” kifejezéssel szabná meg a törvények szövegében. Ez egyben szakmai harmonizációt is jelentene az ENFSI által az ENFSI-tagországoknak javasolt ajánlásával (URL2), amely egyezésként (angolul „*match*”), és nem azonosságként (angolul „*identity*”) definiálja a nyilvántartási találatot.

## **Köszönetnyilvánítás**

Szeretném megköszönni Kormos Zoltánnak, az NSZKK Genetikai Szakértői Intézet (GSZI) DNS-Nyilvántartó Osztály vezetőjének a nyilvántartási adatok rendelkezésemre bocsátását. Köszönettel tartozom Horváth Zoltánnak, a GSZI informatikusának a LIMS-ünk, a Familias és a DNAXs szoftver közötti adatkapcsolat megteremtéséért, illetve a találatokat érintő ügyadatoknak a LIMS-ünkből történő lekérdezéséért. Az ORFK részéről hálás vagyok dr. Petőfi Attila r. vezérőrnagy úrnak és Kompoltiné Berényi Anita

asszonynak a találatot mutató ügyek státságának megállapításáért. Végül, de nem utolsósorban szeretném megköszönni Lontai Mártonnak, az NSZKK főigazgatójának és Dobos Ágotának, a GSZI volt igazgatójának a folyamatos támogatását ebben a találatkereső projektben is.

## Felhasznált irodalom

Akane, A., Shiono, H., Matsubara, K., Nakahori, Y., Seki, S., Nagafuchi, S., Yamada, M., Nakagome, Y.: Sex identification of forensic specimens by polymerase chain reaction (PCR): two alternative methods. *Forensic Sci Int* 1991 /1. 81–8. o.

Forrás: [https://doi.org/10.1016/0379-0738\(91\)90174-H](https://doi.org/10.1016/0379-0738(91)90174-H)

Balding, DJ., Nichols, RA.: DNA profile match probability calculation: how to allow for population stratification, relatedness, database selection and single bands. *Forensic Sci Int* 1994/2-3. 125–40. o.

Forrás: [https://doi.org/10.1016/0379-0738\(94\)90222-4](https://doi.org/10.1016/0379-0738(94)90222-4)

Bekaert, B., Van Geystelen, A., Vanderheyden, N., Larmuseau, MH., Decorte, R.: Automating a combined composite-consensus method to generate DNA profiles from low and high template mixture samples. *Forensic Sci Int Genet*, 2012/5. 588–593. o.

Forrás: <https://doi.org/10.1016/j.fsigen.2012.02.001>

Benschop, CC., Sijen, T. (). LoCIM-tool: An expert's assistant for inferring the major contributor's alleles in mixed consensus DNA profiles. *Forensic Sci Int Genet*. 2014. 154–165. o.

Forrás: <https://doi.org/10.1016/j.fsigen.2014.03.012>

Benschop, CCG., van de Merwe, L., de Jong, J., Vanvooren, V., Kempenaers, M., van der Beek, CPK., Barni, F., Reyes, EL., Moulin, L., Pene, L., Haned, H., Sijen, T.: Validation of SmartRank: A likelihood ratio software for searching national DNA databases with complex DNA profiles, *Forensic Science International: Genetics*. 2017. 145–153. o.

Forrás: <https://doi.org/10.1016/j.fsigen.2017.04.008>



Benschop, CCG., Hoogenboom, J., Hovers, P., Slagter, M., Kruise, D., Parag, R., Steensma, K., Slooten, K., Nagel, JHA., Dieltjes, P., van Marion, V., van Paassen, H., de Jong, J., Creeten, C., Sijen, T., Kneppers, ALJ.: DNAXs/DNAStatistX: Development and validation of a software suite for the data management and probabilistic interpretation of DNA profiles. *Forensic Sci Int Genet.* 2019, 81–89. o.

Forrás: <https://doi.org/10.1016/j.fsigen.2019.06.015>

Benschop, C. (2022). Likelihood Ratio calculations using EuroForMix or DNAStatistX. CEPOL kurzus előadás. Riga. 2022. október.

Bleka, Ø., Benschop, CCG., Storvik, G., Gill, P.: A comparative study of qualitative and quantitative models used to interpret complex STR DNA profiles. *Forensic Sci Int Genet.* 2016. 85–96. o.

Forrás: <https://doi.org/10.1016/j.fsigen.2016.07.016>

Butler, JM.: Differential Extraction. In: Butler, JM.: *Advanced Topic in Forensic DNA Typing: Methodology.* Elsevier. 2011. 37–40. o.

Forrás: <https://doi.org/10.1016/C2011-0-04189-3>

Clayton, TM., Guest, JL., Urquhart, AJ., Gill, PD.: A genetic basis for anomalous band patterns encountered during DNA STR profiling. *J Forensic Sci* 2004/6. 1207–1214. PMID: 15568691.

Gill, P., Hicks, T., Butler, JM., Connolly, E., Gusmão, L., Kokshoorn, B., Morling, N., van Oorschot, RAH., Parson, W., Prinz, M., Schneider, PM., Sijen, T., Taylor, D.: DNA commission of the International society for forensic genetics: Assessing the value of forensic biological evidence - Guidelines highlighting the importance of propositions. Part II: Evaluation of biological traces considering activity level propositions. *Forensic Sci Int Genet.* 2020. 102186.

Forrás: <https://doi.org/10.1016/j.fsigen.2019.102186>

Foreman, LA., Smith, AFM., Evett, IW.: Bayesian Analysis of DNA Profiling Data in Forensic Identification Applications. *Journal of the Royal Statistical Society. Series A (Statistics in Society)* 1997/3, 429–469. o.

Forrás: <http://www.jstor.org/stable/2983264>

Füredi, S.: Az igazságügyi genetikai vizsgálatok statisztikai interpretációja. In: Tóth, É., Belovics, E. (szerk.): A büntetőeljárás segédtudományai I. Pázmány Press. Budapest, 2015. 363–384. o.

Füredi, S.: Kvantitatív statisztikai modellű személyazonosító szoftverek verifikálása a magyarországi bűnügyi DNS-vizsgálatokhoz. Poszter prezentáció a XXII. „Genetikai Műhelyek Magyarországon” c. minikonferencián. Szeged, 2023. szeptember 15.

Hoogenboom, J., Sijen, T., Benschop, C.: ProbRank: An efficient DNA database search method for complex mixtures per a quantitative likelihood ratio model. *Forensic Sci Int Genet.* 2023. 102884.

Forrás: [https://doi.org/10.1016/0379-0738\(91\)90174-h](https://doi.org/10.1016/0379-0738(91)90174-h)

Kling, D., Füredi, S.: The successful use of familial searching in six Hungarian high profile cases by applying a new module in Familias 3. *Forensic Sci Int Genet.* 2016. 24–32. o.

Forrás: <https://doi.org/10.1016/j.fsigen.2016.05.012>

Nogel, M. (2019) A bűnügyi célú DNS-vizsgálatok szabályozása Magyarországon: múlt, jelen és jövő. *Magyar Jog.* 2019.11.29. 689–698. o.

Pádár, Zs., Kovács, G., Nogel, M., Czebe, A., Zenke, P., Kozma, Zs.: Genetika és bűnüldözés – Az igazságügyi célú DNS-vizsgálatok első negyedszázada Magyarországon I. *Belügyi Szemle* 2019/12. 7–34. o.

Forrás: <https://doi.org/10.38146/BSZ.2019.12.1>

Pádár, Zs., Kovács, G., Nogel, M., Czebe, A., Zenke, P., Kozma, Zs.: Genetika és bűnüldözés – Az igazságügyi célú DNS-vizsgálatok első negyedszázada Magyarországon II. *Belügyi Szemle* 2020/1. 9–32. o.

Forrás: <https://doi.org/10.38146/BSZ.2020.1.1>

Reither, JB., Taylor, D., Szkuta, B., van Oorschot RAH.: Exploring how the LR of a POI in a target sample is impacted by awareness of the profile of the background derived from an area adjacent to the target sample. *Forensic Sci Int Genet.* 2023. 102868.

Forrás: <https://doi.org/10.1016/j.fsigen.2023.102868>

Saiki, RK., Scharf, S., Faloona, F., Mullis, KB., Horn, GT., Erlich, HA., Arnheim, N.: Enzymatic Amplification of  $\beta$ -Globin Genomic Sequences and Restriction Site Analysis for Diagnosis of Sickle Cell Anemia. *Science*. 1985. 1350-1354. o.

Forrás: <https://www.science.org/doi/10.1126/science.2999980>

Sessa, F., Pomara, C., Esposito, M., Grassi, P., Cocimano, G., Salerno, M.: Indirect DNA Transfer and Forensic Implications: A Literature Review. *Genes (Basel)* 2023/12. 2153. o.

Forrás: <https://doi.org/10.3390/genes14122153>

Smith, J., Singh, M.: Forensic DNA Profiling: Legal and Ethical Considerations. *Journal of Scientific Research and Reports*. 2024. 141–144. o.

Forrás: <https://doi.org/10.9734/jsrr/2024/v30i51929>

Taylor, D., Bright, J-A., Scandrett, L., Abarno, D., Lee, S-I., Wivell, R., Kelly, H., Buckleton, J.: Validation of a top-down DNA profile analysis for database searching using a fully continuous probabilistic genotyping model, *Forensic Science International: Genetics*. 2021. 102479.

Forrás: <https://doi.org/10.1016/j.fsigen.2021.102479>

### **Interneten elérhető hivatkozások**

URL1: Frequently Asked Questions on CODIS and NDIS

Forrás: <https://www.fbi.gov/how-we-can-help-you/dna-fingerprint-act-of-2005-expungement-policy/codis-and-ndis-fact-sheet>

URL2: ENFSI Board (2023). Guideline for DNA Database Management. Review and Recommendations

Forrás: <https://enfsi.eu/wp-content/uploads/2023/10/ENFSI-GUIDELINE-FOR-DNA-DATABASE-MANAGEMENT-REVIEW-AND-RECOMMENDATIONS.pdf>

Letöltés ideje: 2024.06.18.

Füredi Sándor: A magyarországi bűnügyi DNS-profil nyilvántartás találatkeresési módszerének fejlesztése

URL3: Familias.no

Forrás: <https://familias.no/>

Letöltés ideje: 2024.06.18.

URL4: Best Practice Manual for the internal validation of probabilistic software to undertake DNA mixture interpretation

Forrás: <https://enfsi.eu/wp-content/uploads/2024/04/Best-Practice-Manual-for-the-internal-validation-of-probabilistic-software-to-undertake-DNA-mixture-interpretation-v1.docx-1-1.pdf>

Letöltés ideje: 2024.06.18.

URL5: STRidER. STRs for identity ENFSI Reference database, v3/R2. Frequencies

<https://strider.online/frequencies>

Letöltés ideje: 2024.06.18.

URL6: Füredi, S.: Humán polimorf mikroszatellita (short tandem repeat) lokuszok igazságügyi genetikai vizsgálata magyar populációkban. Doktori értekezés (2003)

Forrás: <https://docplayer.hu/3560577-Human-polimorf-mikroszatellita-short-tandem-repeat-lokuszok-igazsagugyi-genetikai-vizgalata-magyar-populaciokban.html>

Letöltés ideje: 2024.06.18.

URL7: Harvey, A., Howell, E. (2022). How many stars are in the universe?

Forrás: <https://www.space.com/26078-how-many-stars-are-there.html>

Letöltés ideje: 2024.06.18.

## **Felhasznált jogszabályok**

2009. évi XLVII. törvény a bűnügyi nyilvántartási rendszerről, az Európai Unió tagállamainak bíróságai által magyar állampolgárokkal szemben

hozott ítéletek nyilvántartásáról, valamint a bűnügyi és rendészeti biometrikus adatok nyilvántartásáról

2013. évi LXXXVIII. törvény a körözési nyilvántartási rendszerről és a személyek, dolgok felkutatásáról és azonosításáról

## Függelék

### *Az igazságügyi DNS-profil vizsgálatok alapjai*

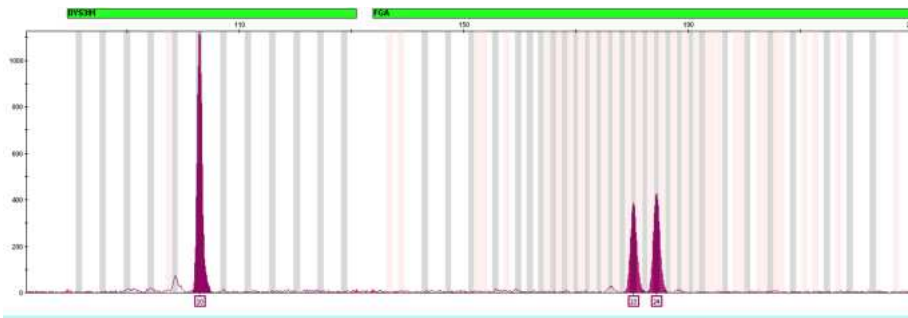
Az igazságügyi genetikai vizsgálatok fő célja a bűncselekményekkel kapcsolatba hozható biológiai anyagmaradványok, ismeretlen személyazonosságú élő vagy holt személyek, illetve a genetikai rokonok azonosítása. Mindezen vizsgálatok jelenleg az úgynevezett Short Tandem Repeat genetikai markerek (lokuszok) (STR-ek, rövid tandem ismétlődések, mikroszatelliták) fluoreszcens PCR DNS-fragmensanalízisen alapulnak. Az igazságügyi DNS-elemzések során az élőlénynek (leggyakrabban az embernek) nem a teljes örökítő anyagát (genomját) vizsgáljuk, hanem – vizsgálatitípustól függően – általában csak kb. 20-30 db kitüntetett helyét, amelyeket összefoglalóan markereknek vagy lokuszoknak hívunk. A markerek egy csoportját képezik az STR-lokuszok, amelyekben a 2–7 nukleotidból<sup>1</sup> álló rövid DNS-szakaszok egymás után, tandem módon többször (általában 5–50-szer) ismétlődnek. Az ismétlődések száma sok STR-markernél a magasabbrendű élőlények egyedei, így az emberek között is változatosságot (polimorfizmust) mutat, amelynek köszönhetően a polimorf STR-ek lokuszonként – a markerek típusától függően – általában 5–100 féle típusban (általában) fejeződnek ki az emberi népességben. Az STR-allélokot azzal a számmal szokták jelölni, ahány db ismétlődő szakaszt tartalmaznak. Az STR-markereket általában a kromoszómájukon elfoglalt egykópiás lokuszorszámuk szerint nevezik el (például D21S11: a 21. kromoszóma 11. egykópiás lokusza), vagy arról a génről kapják a nevüket, amelyikben vagy amelyik közelében helyezkednek el (például vWA: von Willebrand Factor A típus). A polimorf STR-lokuszok az összes emberi kromoszómán megtalálhatók, így a testi (autoszómás) és a nemi (X- és Y-) kromoszómákon. Tekintettel arra, hogy az emberek a testi kromoszómájukat és a nők az X-kromoszómájukat mindkét szülőtől kapják, ezért – néhány ritka kivételtől

---

<sup>1</sup> nukleotid: a DNS és RNS örökítőanyagot alkotó nukleotidlánc szerkezeti egysége

eltekintve – minden ember az autoszómás, és minden nő az X-kromoszómás STR-markerein két-két alléllal rendelkezik (szakszóval diploid allélok). A férfiak a szüleiktől csak egy X- és egy Y-kromoszómát örökölnek, így lokuszonként csak egy X- vagy egy Y-STR allélt hordoznak (haploid allélok).

Az emberi sejtek DNS-tartalma tömegét tekintve rendkívül alacsony, kb. 6 pg ( $6 \times 10^{-12}$  gramm). Ennek folytán a genetikai állomány bűnügyi mintákon hatékonyan, közvetlenül nem analizálható. Az 1985-ben felfedezett, később Nobel-díjjal jutalmazott polimeráz láncreakción (PCR) (Saiki et al., 1985) alapuló sokszorozási (amplifikációs) eljárással azonban a vizsgálni kívánt DNS-szakaszok mennyisége több milliószorosára növelhető, így az elemzésre kiválasztott markerek alléljai már egyszerűbb detektálási eljárással is láthatóvá tehetők. A PCR-technika másik óriási előnye, hogy faj- (például humán-) és markerspecifikus vizsgálatot tesz lehetővé, azaz az elemzést nem zavarja a többi DNS-szakasz és esetleg más fajtától (például mikrobáktól) származó genetikai anyag jelenléte. A fluoreszcens PCR-amplifikáció során az STR-allélok színjelölést kapnak egy-egy rájuk helyezett fluoreszkáló festék révén, melyek lézersugárral megvilágítva az adott festékre jellemző hullámhosszúságú fényt bocsátanak ki. A különböző méretű (hosszúságú) allélok kapilláriscsőben lévő gélbe vezetett áram segítségével, elektroforézissel szétválaszthatók, mivel a kisebb allélok az elektromos térben gyorsabban mozognak a nagyobb társaikhoz képest. A fix helyzetű lézersugáron áthaladó allél fluoreszcens fényt bocsát ki, amely a genetikai analizáló műszer görbéjén (az elektroferogramon) egy csúcsként jelenik meg. Az allélcsúcs magassága egyenesen arányos a mintában lévő azon eredeti (úgynevezett templát) DNS mennyiségével, amelyről a detektált allél felsokszorozva lemásolódott. Ha a személy a vizsgált diploid lokuszon a szüleitől ugyanolyan típusú allélt kapott, akkor az adott marker-nél csak egy darab dupla magasságú csúcs figyelhető meg (homozigóta genotípus), míg, ha az egyén két különböző méretű allélt örökölt, akkor két darab, kb. fele magasságú csúcs detektálható (heterozigóta genotípus) (F1. számú ábra).



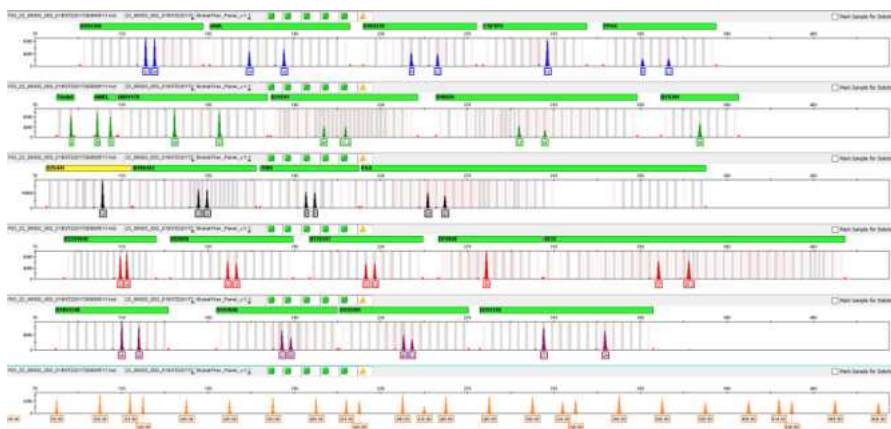
F1. számú ábra

Homozigóta (bal oldal) és heterozigóta (jobb oldal) STR-lokuszt elektroferogramja

Az STR-lokusztok hagyományos PCR-rel vizsgálható mérete általában 80–500 nukleotid között mozog. Ahhoz, hogy egyetlen vizsgálattal 5 db STR-nél többet lehessen egyszerre elemezni, az szükséges, hogy az egymással méretükben átfedő markerek különböző fluoreszcens festékekkel legyenek megjelölve. Hatféle festék használatával 20–30 db lokuszt már egyszerre analizálható válik (F2. számú ábra).

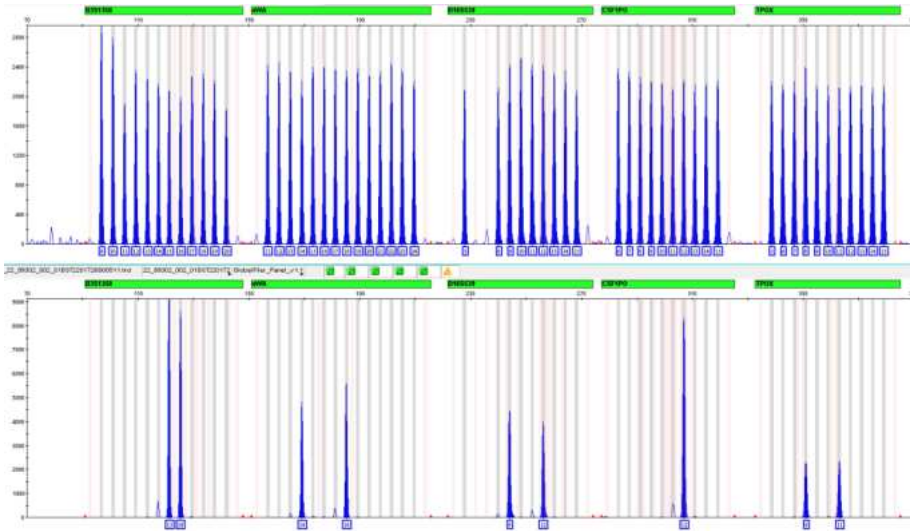
Az első öt sor az ötféle fluoreszcens festékekkel jelölt lokusztok alléljait mutatja, a hatodik sor pedig az úgynevezett belső méretstandard csúcsait jelzi.





F2. számú ábra  
Egy személy DNS-profiljának elektroferogramja

A DNS-fragmensanalízis során a vizsgálati minták tipizálása (ti. DNS-profiljuk meghatározása) egy úgynevezett belső méretstandard és egy úgynevezett külső típusstandard (alléllétra) segítségével történik. A külön fluoreszcens színnel jelölt, ismert méretű DNS-fragmensekből álló belső standardot (lásd F2. számú ábra 6. sora) hozzákeverik a minta DNS-éhez, mely az elektroforézis során együtt futva a minta DNS-ével kalibrációs méretgörbét szolgáltat a minta alléljainak nukleotid (bázis) egységben történő méretmeghatározásához. A külső típusstandard (alléllétra) a vizsgált lokuszokon a népességben leggyakrabban előforduló, ismert típusú allélok köztéje. A belső méretstandarddal összekeverve, de a mintáktól külön kerül vizsgálatra. Az ismeretlen DNS-profilú minta alléljait aszerint tipizálják, hogy azok az alléllétra mely csúcaival kerülnek azonos pozícióba (F3. számú ábra). A tipizálás automatizálásához már természetesen erre a célra kifejlesztett szoftverek állnak rendelkezésre.



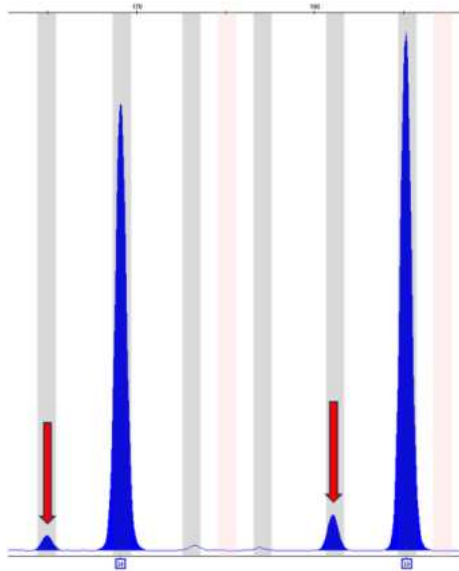
F3. számú ábra

Egy alléltre (felső sor) és egy személy DNS-profiljának (alsó sor) elektroferogramja

Egy lokuszon kimutatott alléltípusok összessége a genotípus, a személyi mintából vagy a biológiai anyagmaradványból megállapított genotípusok összessége pedig a DNS-profil. A DNS-profil, attól függően, hogy testi vagy nemi kromoszómás STR-ek alléljait tartalmazza, lehet autoszómás, X- vagy Y-kromoszómás. Tekintettel arra, hogy az Y-kromoszóma kizárólag apáról fiúra öröklődik, így az Y-kromoszómás DNS-profil mindig csak egyetlenegy szülő, az apa alléljait hordozza, ezért az Y-STR profilt Y-haplotípusnak is hívják. A DNS-profil vizsgálatok standardizálása, a költség-hatékony és magas minőségű laboratóriumi analízis, valamint az eredmények nemzetközi szintű összehasonlíthatósága érdekében gyártói vegyszer-csomagok (kitek) kerültek kifejlesztésre és a hazai szakértői vizsgálatokban is bevezetésre az STR-elemzések céljából. A gyártók által a kiteknek adott fantázianevekkel (például Globalfiler, PowerPlex Fusion 6C) az ügyszakértői munka során, a nemzeti és nemzetközi adatcserében vagy a szakirodalomban egyszerűen definiálható és meghivatkozható azoknak a DNS-

profiloknak a lokuszkészlete, amely profilok az adott vegyszercsomag segítségével lettek meghatározva.

Az STR-elektroferogram általában nemcsak allélcsúcsokból áll. Az STR PCR-amplifikáció inherens sajátossága az úgynevezett dadogó (stutter) műtermékek képződése. Ezek a PCR során döntően a templát, ritkábban a képződő DNS-szálak leggyakrabban egy, ritkábban több ismétlődő egységnyi kihurkolódásával keletkeznek, és az elektroferogramon legintenzívebben a szülőalléljuknál egy egységnyivel kisebb méretben, a szülőallél előtt, annál alacsonyabb csúcsként helyezkednek el (F4. számú ábra).



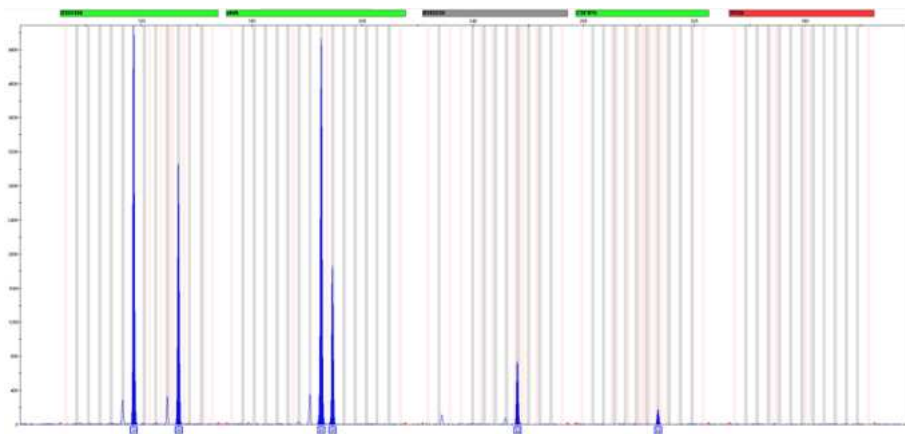
F4. számú ábra

STR-allélok hátsó (backward, N-1) stutter csúcsai (piros nyilakkal jelölve)

A DNS-profilok egyezése vagy nagyfokú hasonlósága/átfedése alátámasztja a biológiai minták (például a személyi referencia minta és a helyszíni biológiai anyagmaradvány) közös személyi eredetét, míg a profilok között megfigyelt eltérés kizárhatja azt. A rendkívül kis mennyiségű, bomlott és/vagy többszemélyi eredetű biológiai anyagmaradványokból nem

mindig lehet pontosan kimutatni a nyomhagyó személy(ek) DNS-profilját. Ha a kiindulási DNS mennyisége vagy bomlottsági foka egy kritikus tartományba kerül, akkor a PCR-során egyes allélok véletlenszerűen nem szorozódnak fel a már éppen detektálható szintig. Ezt a jelenséget allélkiesésnek (allelic dropout) hívjuk. Sok esetben detektálható mértékű amplifikáció ugyan történik, de csak csökkent mennyiségben, így a vártnál alacsonyabb allélcúcsok keletkeznek. Ez az elektroferogramon kialakíthatja a bomlott DNS úgynevezett degradációs DNS-profil képét, ahol is a nagyobb méretű lokuszok a kisebbekhez képest tipikusan alacsonyabb allélcúcsintenzitással vagy allélkieséssel mutatkoznak (F5. számú ábra).

Az utolsó lokuszon nem volt kimutatható allél a DNS bomlott állapota miatt.



F5. számú ábra  
Bomlott holttestminta degradált DNS-profilú elektroferogramja

Tekintettel arra, hogy a jelenleg alkalmazott módszereinkkel a DNS-profil kimutathatóságának optimális DNS-templát mennyiségi tartománya 0,1-1 ng ( $0,1-1 \times 10^{-9}$  gramm), ezért a többszemélyi eredetű (úgynevezett kevert) minták esetében annak a nyomhagyó személynek a genetikai profilja sokszor kimutathatatlanává válik, akinek a DNS-e nem éri el a mintában

lévő összes DNS egytizednyi mennyiségét. Ez a kimutathatatlanság az alacsony DNS-tartalmú vagy bomlott egyszemélyi mintákéhoz hasonlóan részleges is lehet, azaz az úgynevezett minor nyomhagyónak nem mindegyik allélja tűnhet el. Az alacsony DNS-tartalmú biológiai anyagmaradványok esetében még egy jelenség, az úgynevezett allélbeesés (allelic drop-in) befolyásolhatja a mintából meghatározható DNS-profilt. Háttér- vagy felülszennyeződés révén a vizsgálni kívánt maradványba minimális mértékben bele- vagy rákerülhetnek indifferens személyek alléljai is, mely allélok kis számuk, véletlenszerű megjelenésük és gyenge intenzitásuk miatt személyazonosításra alkalmatlanok. A nagyobb mértékű felülszennyezés már személyazonosítható minőségű DNS-profil eredményezhet, amely jelenséget az allélbeeséstől megkülönböztetve kontaminációnak hívunk.

### ***A magyarországi igazságügyi DNS-profil nyilvántartások***

Öt évvel a világ első bűnügyi DNS-profil nyilvántartásának, a brit DNS-adatbázisnak a felállítása után, 2000-ben Magyarországon is hatályba lépett a kriminalisztikai célú DNS-profil nyilvántartást szabályozó törvény. Mindez a többi európai országhoz képest viszonylag gyorsan, csupán 8 évvel azután történt, hogy Magyarországon először a Nemzeti Szakértői és Kutató Központ (NSZKK) jogelődjében, a Bűnügyi Szakértői és Kutatóintézetben (BSZKI) az igazságügyi DNS-vizsgálatokat bevezették (Pádár és mtsai, 2019). A hazai igazságügyi DNS-profil nyilvántartásokat jelenleg alapvetően két törvény szabályozza, melyek meghatározzák gyakorlatilag az összes olyan DNS-minta nyilvántartását és kerestetését, melyek a forenzikus személyazonosítás céljából jelentőséggel bírnak közigazgatási, körözési és büntetőügyekben. A magyarországi DNS-profil nyilvántartások egymástól elkülönítve és anonimizálva az alábbi személyek és biológiai anyagmaradványok DNS-profiljait tartalmazzák:

- bűncselekményekkel kapcsolatba hozható, ismeretlen eredetű nyomok és biológiai anyagmaradványok (például helyszínről, elkövetési eszközről, ruházatról);
- terhelt (gyanúsított, vádlott, elítélt) személyek;
- ismeretlen személyazonosságú holttestek, holttestmaradványok;
- eltűnt, körözött személyek és hozzátartozóik;
- büntetőeljárással összefüggésben vétkes nyomszennyezés kockázatát hordozó tevékenységet végző személyek.

A nyilvántartási törvények meghatározzák a DNS-profilok adatbázisba helyezhetőségének és kerestethetőségének kritériumait, a nyilvántarthatóság idejét és a nyilvántartásból való törlés feltételeit. A terhelt személyek vonatkozásában például számos kivételtől eltekintve csak ötévi vagy ennél súlyosabb szabadságvesztéssel büntetendő szándékos bűncselekmény elkövetésével meggyanúsított személyek DNS-profiljai nyilvántarthatóak, vagy másik példaként a bűncselekmények ismeretlen eredetű DNS-profiljai nem hasonlíthatók össze az eltűnt személyek hozzátartozóiéval. A törvények ugyanakkor lehetővé teszik, hogy a nyilvántartásban kezelt adatok (ti. a DNS-profilok is) statisztikai, valamint tudományos kutatási célra – személyazonosításra alkalmatlan módon – átadhatók és felhasználhatók.

A magyarországi bűnügyi DNS-profilnyilvántartás az NSZKK (korábban BSZKI) kezelésében 2004 óta működik az FBI által kifejlesztett Combined DNA Index System (CODIS) adatbázis szoftver (URL1) segítségével. A szoftver adatbázisa külön regiszterekben, úgynevezett indexekben tárolja az eltérő DNS-mintakategóriák (például biológiai anyagmaradvány, terhelti) profiljait, lehetővé téve azoknak egymástól független kezelését. A 2023. szeptember 13-i állapot szerint 254 635 db személyi és 8 209 db anyagmaradvány DNS-profil található meg az adatbázisban és vesz részt a találatkeresésben. A magyar nyilvántartásokba összesen legalább 25 ezer új személyi profil és mintegy 1 400 új anyagmaradvány profil kerül évente rögzítésre. A nyilvántartott DNS-profilok lokuszkészlete egymással lehet azonos vagy nagyrészt átfedő. Az elmúlt évtizedekben a DNS-technológia

fejlődésével a megbízhatóbb személyazonosítás érdekében a markerkészlet 9 db autoszómás STR-lokuszról 23 db markerre bővült. A profilok egy kisebb hányada nem tartalmazza a vizsgálat idején elérhető kit segítségével meghatározható összes STR alléladatát, mivel a csekély mennyiségű vagy rossz minőségű biológiai anyagmaradványok esetében a korábban kifejtett allélkiesés jelensége miatt egyes lokuszokon eredménytelen volt a DNS-analízis. A véletlen egyezések lehetőségének minimalizálása érdekében a nemzetközi gyakorlatot követve a magyar adatbázisban olyan DNS-profilok nem kerülhetnek összehasonlításra, amelyek között nincs legalább 6 db átfedő, alléleredményt tartalmazó STR-lokusz.

A nyilvántartásokba napi rendszerességgel kerülnek be és törölődnek onnan DNS-profilok. Ugyancsak naponta kerülnek összehasonlításra az új DNS-profilok az adatbázisban már bent lévőkkel. Ugyan a CODIS-szoftver képes nemcsak autoszómás, hanem X- és Y-kromoszómás DNS-profilok, valamint az úgynevezett mitokondriális haplotípusok (mitotípus)<sup>2</sup> tárolására és összehasonlítására is, a magyarországi adatbázis csak autoszómás profilokon végez összehasonlításokat, mivel kizárólag a testi kromoszómás DNS-profilok alkalmasak konkrét személy önálló, egyértelmű beazonosításra. Ennek az az oka, hogy a nem autoszómás DNS-ek között egyáltalán nincs, vagy nincs teljeskörű DNS-átrendeződés (úgynevezett rekombináció) az ivarsejtképződés során, így az utód csak az egyik vagy másik szülője DNS-ét kapja meg, gyakorlatilag változatlan formában. Ennélfogva az egyik szülő és gyermeke azonos DNS-típussal rendelkezik (kivéve a nők X-kromoszómái esetében).

A CODIS-ban a DNS-profilok összehasonlítása kizárólag az alléltípusok számszerű páros összevetéséből áll. A hatályos nyilvántartási törvények a nyilvántartási találat kritériumát a DNS-profilok azonosságaként írják le. Az „azonosság” szűkebb (szigorúbb) szakmai és jogi értelmezése

---

<sup>2</sup> Mitokondriális haplotípus (mitotípus): a sejtek energiatermelő és -raktározó, sejttagon kívüli sejt szervecskéiben, a mitokondriumokban lévő DNS-en meghatározott DNS-típusok együttese

szerint kizárólag teljes azonosság fogadható el találatként, azaz az összehasonlítható két DNS-profil között – pontosabban azok közös (átfedő) STR-készletében – nem lehet egyetlen eltérés vagy különbség sem. Tehát így például a 14/15/16 alléltípusú, többszemélyi eredetű (kevert) minta nem azonos a 14/15 alléltípusú személlyel, ezért nem fogadható el találatként. A CODIS-szoftver ugyanakkor igény esetén lehetőséget biztosít egymástól részben különböző DNS-profilok közötti találatkeresésre is. A szoftver mérsékelt és alacsony szigorúságú (moderate/low stringency) találatkeresési beállításai megengedik az egyezést mutató allélokon kívül egyéb allélok jelenlétét vagy egyes keresett allélok hiányát. A magyar igazságügyi DNS-profil nyilvántartások és azok működési kereteit meghatározó jogszabályok végrehajtási módja ugyan csak egy személytől származó DNS-profilok vagy profilkomponensek összehasonlítását teszi lehetővé, azonban a csökkentett szigorúságú találatkeresés révén olyan többszemélyi profilok is összehasonlításra kerülhetnek, amelyekben a későbbiekben tárgyalt szakértői értékelési módszerekkel egy egyetlen személytől származó DNS-profilkomponens volt elkülöníthető. Ezeket az általában biológiai anyagmaradványokból meghatározott speciális profilokat a CODIS-adatbázisunk egy elkülönített, úgynevezett kijelölt kevert minta (assigned mixture) nevű indexben tárolja.

Attól függően, hogy a CODIS mely indexei között mutatják ki a DNS-profilok azonosságát (egyezését), személy/személy, személy/anyagmaradvány vagy anyagmaradvány/anyagmaradvány találatokról beszélhetünk. Személy/személy találat előfordulhat akkor, ha ugyanattól a személytől – például hamis személyazonosító dokumentuma miatt – többször vesz mintát a hatóság, illetve az egypetéjű ikrek esetében, mivel a DNS-nyilvántartással kompatibilis genetikai markerekkel nem mutatható ki eltérés egypetéjű ikerpárok DNS-profiljai között. A személy/anyagmaradvány találat leggyakoribb esetei, amikor a bűncselekmény helyszínén, az elkövetési eszközön vagy az elkövetéskor viselt ruházaton rögzített minta DNS-profilja egyezést mutat egy terhelt személy profiljával, beazonosítva ezzel a



nyomhagyót, mint lehetséges elkövetőt. Amennyiben a nyilvántartási találatig az eljáró hatóságnak nem volt információja a beazonosított személyről vagy annak nyomhagyásáról, akkor a találatot az angol szakkifejezésből magyar nyelvbe tükörfordítással átültetve hidegtalálatnak (cold match/hit) nevezzük. A hidegtalálat kifejezés érzékletesen szemlélteti ezt az esetet, amikor is az eljáró hatóság kezében a DNS-bizonyítékon kívül nincs más adat az illető személy nyomhagyására vonatkozóan, így azt a kérdéses cselekmények és körülmények megnyugtató tisztázása érdekében lehetőség szerint egyéb nyomozati vagy bizonyítási eszközökkel meg kell erősíteni. Személy/anyagmaradvány találatnak egy másik típusa az ismeretlen holttest DNS-profiljának egyezése egy eltűnt személy profiljával, vagy nagyfokú hasonlósága egy eltűnt személy rokonával. Ez utóbbi eset nem klaszrikus, egy az egyes (ügynevezett direkt) találatnak, hanem ügynevezett rokonsági találatnak minősül. Az anyagmaradvány/anyagmaradvány találat pedig rámutat a biológiai anyagmaradványok közös, bár még ismeretlen személyi eredetére. A nyomhagyó ismeretlen személye ellenére ez a találat típus is hasznos információt szolgáltat a nyomozó hatóságok részére, mivel összeköti egymással a különböző bűncselekményeket, azok helyszíneit vagy az ismeretlen személyazonosságú holttestrészeket. Köszönhetően annak is, hogy Magyarország lakosságának kb. 2%-a van nyilvántartva a DNS-adatbázisban, a magyar igazságügyi DNS-profil nyilvántartások jelenleg naponta átlagosan egy-két ügy sikeres megoldásához járulnak hozzá a találatokkal.

### ***Az igazságügyi genetikai szakértői vizsgálatok eredményeinek interpretációja***

Az igazságügyi genetikai szakértői munka nem ér véget a DNS-profilok meghatározásával. Már maga a profilmeghatározás, különösen az ügy szempontjából releváns feltételezett nyomhagyó [továbbiakban POI- (person of interest)] személy alléljainak az azonosítása is sokszor nehézségbe ütközik a biológiai anyagmaradvány (például érintési nyomok) alacsony

DNS-tartalma, többszemélyi (kevert) eredete, bomlottsága vagy háttér- és felülszennyezettsége miatt. Mindezek a körülmények a POI egyes alléljainak véletlenszerű, részleges vagy teljes kimutathatatlanságát (allél- és lokuskiesés), és/vagy konkrét nyomhagyó személyekhez nem köthető idegen (sporadikus) allélok véletlenszerű megjelenését (allélbeesés) okozhatják. Az allélkiesés és -beesés statisztikai alapon kezelhető véletlenszerűsége miatt a minták szakértői elemzése során ismétlődő (replikált) DNS-profil vizsgálatokat végzünk annak érdekében, hogy a nyomhagyó személyek alléljait minél nagyobb eséllyel meghatározhassuk, és azokat elkülöníthessük a sporadikus alléloktól. Ehhez már rendelkezésünkre áll olyan szakértői szoftverrendszer, amely a szakértők által könnyen áttekinthető és kezelhető formában tudja megjeleníteni az ismétlések DNS-profil eredményeit (Benschop et al., 2019).

Az igazságügyi genetikus szakértő fő feladatát, az ismeretlen biológiai anyagmaradvány, ismeretlen személyazonosságú élő vagy holt személy, valamint a vérrokonság azonosítását a DNS-profilok összehasonlításával végzi el. Itt most egyelőre „csak” a személyi vagy anyagmaradvány minta forrásának, származásának DNS-szintű azonosításáról van szó. Egyszemélyi eredetű DNS-profilok összehasonlító – bár néha kihívásokkal is terhelt – vizsgálata sokkal egyszerűbb mind az ügyön belüli összehasonlítások, mind a nyilvántartásokban való kerestetés során. Emiatt a szakértői elemzések során törekszünk arra, hogy a biológiai anyagmaradványok adta lehetőségek mentén a kevert DNS-profilok egyszemélyi eredetű komponenseit meg tudjuk állapítani. Ehhez sejtdifferenciált DNS-tisztítási technológia (Butler, 2011), illetve az egyes DNS-tulajdonságoknak a biológiai anyagmaradványban lévő mennyiségi viszonyait kifejező allélintenzitás elemzési lehetőség áll a szakértők rendelkezésére (Benschop & Sijen, 2014). Az egyre növekvő arányban vizsgálatra kerülő kevert anyagmaradványok egy jelentős részében sajnos azonban nincs mód a nyomhagyók DNS-profiljainak egyértelmű szétválasztására. Modern statisztikai módszerek (Bleka, Benschop, Storvik & Gill, 2016) alkalmazásával a vizsgálati minta többségét adó (úgynevezett domináló) személyek DNS-profiljának

elválasztása egyre inkább megbízható, ugyanakkor a kevesebb DNS-t hátra hagyó egyének (akik között sokszor szerepel a POI) profiljának valószínűsítése továbbra is kihívást jelent a szakma számára.

Biológiai anyagmaradványok származásának megállapításánál, illetve rokonsági vizsgálatok során az anyagmaradványok vagy a vizsgált személyek azonos (közös) eredetének meghatározását végezzük el. Az azonos vagy nagyon hasonló tulajdonságok megléte alátámasztja a származást. Ez nemcsak biológiai, hanem egyéb nyomokra is érvényes (például ujjnyom, ruhaszövet elemi szálai, üvegmaradvány, cipőtalplenyomat). Ennek alapján az ebben a fejezetben leírt úgynevezett Bayes-elvű statisztikai interpretáció nemcsak genetikai, hanem más igazságügyi szakterületeken is alkalmazható. Amennyiben a vizsgált DNS-profilok között az eltérés megfelelő mértékű, akkor kategorikusan kizárható a két DNS-minta közös eredete. A teljes egyezés vagy a nagyfokú hasonlóság felveti azt a kérdést, hogy a származás megállapítható-e kategorikusan, vagy számolni kell-e a véletlen egyezés lehetőségével is? Kategorikus véleményadás során a szakértői bizonytalanság nullának tekinthető, azaz a szakértői állítással ellentétes eset előfordulása kizárt. Fontos azonban megjegyezni, hogy tudományos ismervek alapján a származás nem bizonyítható kategorikusan. A szakértő a tudományos vizsgálati eredmények és tapasztalatai alapján mentálisan meggyőződik a származás kategorikus voltáról. A valószínűsítő véleményadás során ezzel ellentétben a szakértő tudományos, statisztikai módszerekkel megbecsüli a származás bizonytalanságát, amely mindig nagyobb nullánál. Az ártatlanság vélelme alapján a szakértő ezt a becslést úgy végzi el, hogy a perbe vont félre nézve a legkevésbé terhelő, de valószínű szakértői valószínűsítést adja. Ezt a világszerte megkövetelt és alkalmazott megközelítést konzervatív becslésnek hívjuk. Azt is fontos hangsúlyozni, hogy a valószínűsítő véleményadás is tartalmazhat szubjektív elemeket, ugyanis a szakértés a gépesítés nagyfokú fejlettsége mellett sem függetleníthető az emberi döntésektől (Füredi, 2015).

A mindennapi életben is használt valószínűség fogalma többféleképpen is definiálható. A valószínűség kifejezhető egy esemény bekövetkezésének

számával a lehetőségek (például próbák) számához viszonyítva. A valószínűség ugyanakkor csak egy adott körülmény- és feltételrendszerre lehet igaz. Ha a körülmények változnak, akkor a valószínűség számértékében is változhat. Minden valószínűség egyben feltételes valószínűség is, melynek matematikai leírása a következő:  $Pr(H|E)$ , ahol  $Pr$  a valószínűség (probability),  $H$  a vizsgált feltevés (hipotézis) és  $E$  a feltétel [itt most, mint szakértői esemény vagy bizonyíték (event, evidence)]. A feltételes valószínűség tehát  $E$  feltétel (bizonyíték) fennállása esetén  $H$  feltevés bekövetkeztének a valószínűsége. A DNS-profil nem tekinthető egyedinek, azaz nem 100%-ig biztos, hogy a Földön két személy nem rendelkezhet ugyanazzal a DNS-profillal. A DNS-profil egyediségének kérdését alapvetően négy, egymással részben összefüggő tényező befolyásolja. Az egyik, hogy a Föld teljes lakosságát (illetve állati, növényi populációit) nem tudjuk maradéktalanul megtipizálni. Ha erre képesek is lennénk, akkor ezt mindig folytatni kéne az újszülöttekkel. A másik egyediséget zavaró jellegzetesség, hogy az élőlények egy fajba tartozó egyedei szaporodási közösségükben közelebbi-távolabbi rokonságban állnak egymással, azaz genetikai állományuk egy része közös. Ennek szélsőséges esetét az egypetéjű ikrek képviselik, akik a jelenleg rutinszerűen vizsgált markereken azonos tulajdonságokkal rendelkeznek. A harmadik nehezítő tényező az, hogy az egyes lokuszok változottságának (polimorfizmusának) mértéke populációnként/földrajzi területenként változhat. Tehát hiába találjuk egyedinek az egyik népességben a kérdéses DNS-típust, ha a másik populációban esetleg épp az a leggyakoribb. Az egyediség kérdéskörében az utolsó alproblémát az elsősorban a bűncselekmények során előforduló kevert biológiai anyagmaradványok jelentik. A kevert anyagmaradványok egynél több személy vagy egyed sejtjeit és így DNS-ét tartalmazzák, tehát a vizsgálati minta egyszemélyi eredetéről eleve nem is beszélhetünk. Mindezen megfontolások alapján az igazságügyi genetikus szakértők – eltérően például a daktiloszkópus szakértők által alkalmazott gyakorlattól – nem kategorikus, hanem valószínűsítő véleményt adnak a személyazonosítás vagy származás-megállapítás

során. Két biológiai anyag közös eredete vagy a vérrokonság akkor valószínűsíthető, ha a DNS-profilok egyezést vagy nagyfokú hasonlóságot mutatnak (Füredi, 2015).

A származás, leszármazás statisztikai interpretációjára, a véletlen egyezés valószínűségének megbecslésére a szakemberek több, egymásra épülő módszert dolgoztak ki az elmúlt évtizedek során. Két alapmódszer alkalmazásával – a DNS-profil előfordulási gyakoriságának, illetve véletlen egyezési valószínűségének megbecslésével – eljuthatunk a jelenleg világszerte alkalmazott statisztikai eljáráshoz, a Bayes-féle hipotézisteszteléshez (Foreman, Smith & Evett, 1997). Az igazságügyi eljárásokban a DNS-profilok egyezése csak akkor bír megfelelő bizonyító erővel, ha a megállapított DNS-profil olyan ritka a népességben, hogy elhanyagolható az esélye annak, hogy a kérdéses személyen kívül más is rendelkezhet ugyanazzal a DNS-profillal. A DNS-vizsgálati eredmények bizonyító erejének megbecsléséhez ismernünk kellene tehát a DNS-profil előfordulási gyakoriságát a népességben belül. A biológiai nyom DNS-profiljának feltételes előfordulási valószínűségét a következőképpen jelölhetjük:  $P = Pr(G_c|H_d)$ , ahol  $G_c$  a biológiai nyom DNS-profilja és  $H_d$  a védelem azon feltételezése, hogy a biológiai nyomot nem a terhelt hagyta hátra. A modern genetikai vizsgálórendszerek nagy bizonyító ereje a DNS-profilok rendkívül ritka voltából fakad, amely azonban gondot is okoz a valószínűség megbecslésénél. A legtöbb DNS-profil ugyanis olyan ritka, hogy egyszer sem fordul elő az egyes népségeket reprezentáló populációs adatbázisokban. Szerencsére bizonyos feltételek teljesülése esetén a DNS-profil gyakorisága kifejezhető a profilt alkotó allélok előfordulási gyakoriságának segítségével. A főbb feltételek közé tartozik az, hogy testi kromoszómás lokuszokat érintsen a vizsgálat (ilyenek a DNS-profil nyilvántartások markerei is), a használt allélgyakorisági adatbázis legyen kellően reprezentatív, valamint a vizsgált népesség nem térhet el lényegesen a genetikai egyensúly állapotától. E feltételek az emberi népességben általában teljesülnek az igazságügyi eljárásokban vizsgált testi kromoszómás markereken, így megvalósul az allélok egymástól független öröklődése a lokuszokon belül és a lokuszok között.

A független öröklődés pedig lehetővé teszi azt, hogy a DNS-profil előfordulási gyakorisága megbecsülhető az allélgyakoriságok egyszerű szorzataként (Füredi, 2015).

Talán meglepő módon a származás bizonyításához azonban nem pontosan a DNS-profil előfordulási gyakoriságára van szükségünk, hiszen a profilt a biológiai anyagmaradványból – és teljes egyezés esetén a POI-ból – már kimutattuk. Igazából arra vagyunk kíváncsiak, hogy mi annak a valószínűsége, hogy a biológiai anyagmaradvány DNS-profilját a kérdéses személyen (például terhelt) kívül még egyszer megfigyeljük a népességben. Ennek az úgynevezett DNS-profil egyezési valószínűségnek a jelölése:  $P_m = Pr(G_c | G_s, H_d)$ , ahol az előfordulási gyakorisághoz ( $P$ ) képest a feltételrendszerben megjelenik egy új elem, az egyezést mutató személy (például gyanúsított) DNS-profilja ( $G_s$ ). Ha a védelem feltevésében a terhelt és a tényleges tettes között még távoli rokonság sem áll fenn, akkor a terhelt DNS-profiljának ismerete nem befolyásolja a profilegyezési valószínűséget, így az ekvivalens a DNS-profil előfordulási gyakoriságával ( $P_m = P$ ). A védelem feltevésében azonban a terhelt közeli vagy távoli rokoni kapcsolatban is lehet a tényleges nyomhagyóval. Ez az úgynevezett rokonsági/alpopulációs hatás, mint eltérő körülményrendszer módosítja a DNS-profil egyezési valószínűség értékét. Kriminálisztikai kutatások kimutatták, hogy a terhelt és a tényleges tettes (amennyiben nem egy személy) igen gyakran ugyanabba az alpopulációba (szűkebb közösségbe) tartozik. Az alpopulációban a biológiai anyagmaradvány lokuszainak alléltípusa gyakoribb lehet, mint a teljes népességben, mivel az alpopulációk tagjai között nagyobb a genetikai kapcsolat (korreláció) a közös ősök, a nem véletlenszerű párválasztás és szélsőséges esetben a beltenyésztés miatt. Az alpopulációs hatás mértéke a népességben populáció-genetikai vizsgálatokkal megállapítható, és az úgynevezett közös leszármazási együtthatóval ( $F_{ST}$  vagy  $\theta$ ) jellemezhető. A  $\theta$ -érték önmagában általában csak kis mértékben növeli a DNS-profil egyezési valószínűséget, azonban közeli vérrokonság esetén a rokonsági hatás már nagyfokú. A  $\theta$ -korrekció már régóta részét

képezi a rutin statisztikai genetikai alapú személyazonosításnak (Balding & Nichols, 1994; Füredi, 2015).

Mind a vád vagy felperes, mind a védelem vagy alperes állítását figyelembe vevő statisztikai interpretációs módszer a Bayes-féle hipotézistesztelés, amely a legsokrétűbb és így világszerte a legelfogadottabb eljárás az igazságügyi személyazonosítási és származás-megállapítási gyakorlatban. A Bayes-féle hipotézistesztelés során legalább (de nem feltétlenül csak) két, egymást kölcsönösen kizáró feltevést vetünk statisztikai vizsgálat alá. A vád hipotézise ( $H_p$ ) például szólhat így: „*A helyszínen talált vérnyom a terhelttől származott*”, míg a védelem ( $H_d$ ) mondhatja azt, hogy „*A vérnyom a terhelttel rokonságban nem lévő ismeretlen személytől származott*”. E feltevéseket magában foglaló, esély formájú Bayes-képlet leírása a következő:

$$\frac{Pr(H_p|E,I)}{Pr(H_d|E,I)} = \frac{Pr(E|H_p,I)}{Pr(E|H_d,I)} \times \frac{Pr(H_p|I)}{Pr(H_d|I)}$$

$PoPR$                        $LR$                        $PrPR$

A három esély (odds) tagból álló Bayes-képlet a valószínűségszámítás alaptörvényeiből levezethető. A képlet első tagja az úgynevezett *a posteriori* (következtetett) valószínűségi hányados ( $PoPR$ ). Ez tulajdonképpen nem más, mint a DNS- és egyéb bizonyítékok/információk alapján a két hipotézis valószínűségének aránya. Az eljáró hatóság ezt a hányadost szeretné megállapítani, mivel ha  $PoPR > 1$ , akkor az terhelő lehet a vádlottra nézve, míg az egynél kisebb, különösen a nullát megközelítő  $PoPR$  érték felmentést eredményezhet. Tekintettel azonban arra, hogy a genetikus szakértő általában nem ismeri vagy nem mérlegelheti az egyéb bizonyítékokat és információkat, így a gyakorlatban a szakértő *a posteriori* valószínűséget általában nem véleményezi (erre kivételt az apasági/rokonsági teszteknel találunk). A Bayes-képlet második tagja a valószínűségi (likelihood) hányados (LR), amely a két hipotézis teljesülésének feltételezése

esetén a DNS-vizsgálati eredmény ( $E$ ) valószínűségeinek aránya. Itt tehát nem a feltevések, hanem a genetikai eredmények megfigyelési/kimutatási valószínűségéről beszélünk. A valószínűségi hányados kiszámításánál a feltevéseket igaznak fogadjuk el, és azt vizsgáljuk, hogy ezekben az esetekben milyen valószínűséggel várható a meghatározott DNS-profil megjelenése a biológiai anyagmaradványban. Tekintettel arra, hogy az LR-érték kalkulációjához nincs feltétlen szükség egyéb, DNS-vizsgálatot nem érintő bizonyítékok és információk mérlegelésére, ezért mód nyílik az elfogulatlan értékelésre, ami miatt is a valószínűségi hányados számítás a nemzetközi és hazai gyakorlatban a statisztikai interpretáció alappillére. A Bayes-képlet utolsó tagja az *a priori* (előzetes) valószínűségi hányados ( $PrPR$ ). A  $PrPR$  az egyéb (előzetes) bizonyítékok és információk alapján a két hipotézis valószínűségének aránya, amely általában nem szakértői mérlegelés tárgya, és a szakértő sokszor nem is ismeri. Az előzetes valószínűségek ismerete nélkül tehát a posterior valószínűségek nem határozhatók meg (Füredi, 2015).

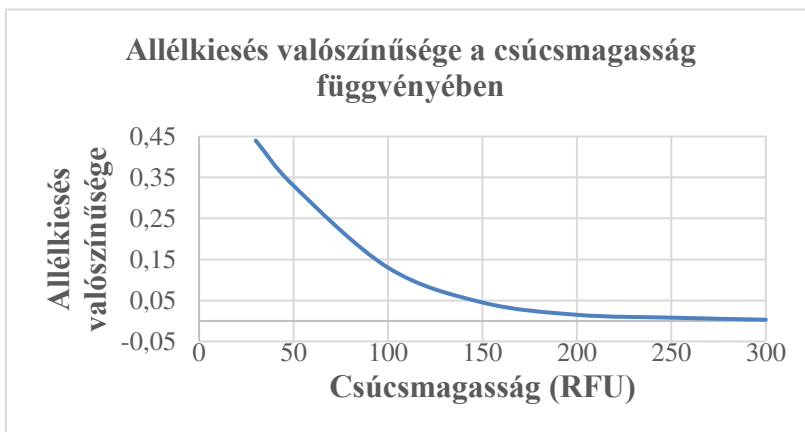
A valószínűségi hányados az egy személytől eredeztethető vizsgálati mintákra a következőképpen számítható ki, ha a módosító tényezők (például laboratóriumi hiba, bomlásból vagy alacsony DNS-tartalomból fakadó alléltulajdonság-vesztés) kizárhatók:

$$LR = \frac{Pr(E|H_p, I)}{Pr(E|H_d, I)} = \frac{I}{Pr(G_c|G_s, H_d, I)} \approx \frac{I}{Pr(G_c|H_d, I)}$$

Ennek alapján a valószínűségi hányados egyszemélyi mintákra a profi-legyezési valószínűség reciprokával, illetve, ha a rokonsági/alpopulációs hatás elhanyagolható, akkor a profilgyakoriság reciprokával egyezik meg (Füredi, 2015). Az igazságügyi DNS-technológia rendkívül gyors fejlődésének köszönhetően az STR-lokuszok szimultán vizsgálatával ma már olyan magas LR-érték nyerhető, amely már a világegyetemben levő csillagok becsült számát ( $10^{24}$ ) (URL7) is nagyságrendekkel meghaladhatja.



Az alacsony DNS-tartalmú [low copy number (LCN), low level (LL), low template (LT)] vagy bomlott biológiai anyagmaradványok PCR-vizsgálatával sok esetben nem lehet tökéletesen meghatározni a nyomhagyó személy DNS-profilját. LCN-mintákban a PCR során egyes allélok sokszorozódása véletlenszerűen (sztochasztikusan) nem éri el az analitikai detektálhatóság szintjét, míg más, a nyomhagyó személy(ek)től nem származó (szennyező) allélok felsokszorozott mennyisége meghaladja a kimutathatósági küszöbértéket. Az előbbi esetet allélkiesésnek ( $D$ ), az utóbbit allélbeesésnek ( $C$ ) hívjuk. E két, igen gyakran együtt jelentkező technológiai jelenség hatására a detektált DNS-profil általában kis mértékben, de eltérhet a nyomhagyó személy(ek) genetikai profiljától. Elméleti megfontolások és gyakorlati tapasztalatok alapján megállapítható, hogy az allélkiesés valószínűsége [ $Pr(D)$ ] és az allélbeesés valószínűsége [ $Pr(C)$ ] fordítottan arányos a kimutatható, illetve a beeső allélok detektálási intenzitásával (RFU) (F6. számú ábra). Az allélkiesés és -beesés mértéke a vizsgálati mintában lévő DNS mennyiségének és minőségének, illetve a PCR-amplifikálás és DNS-fragmensanalízis körülményeinek a függvénye.



F6. számú ábra

Az allélkiesés valószínűsége a kimutatott (maradó) allélok csúcsmagasságának függvényében  
RFU: relatív fluoreszcencia egység

Az allélkiesés és -beesés valószínűsége a Bayes-elvű statisztikai genetikai számításokba beépíthető. Például a vád hipotézisében egy  $A$  genotípusú biológiai anyagmaradványnak egy  $A/B$  genotípusú személytől való származása csak akkor lehetséges, ha az alacsony DNS-tartalmú mintában:

- az  $A$  allél nem tűnik el, melynek valószínűsége  $1 - Pr(D) = Pr(\bar{D})$ ;
- a  $B$  allél kiesett, melynek valószínűsége  $Pr(D)$ ;
- egyéb allél nem jelenik meg, melynek valószínűsége  $1 - Pr(C) = Pr(\bar{C})$ .

A vád állítására a genetikai bizonyíték valószínűsége a fenti valószínűségek szorzata:  $Pr(E | H_p) = Pr(\bar{D})Pr(D)Pr(\bar{C})$ . Hasonló okfejtéssel kapható meg a védelem feltevésére is a kevert DNS-profil valószínűsége, illetve a valószínűségi hányados (Füredi, 2015).

Az igazságügyi DNS-vizsgálatok érzékenységének növekedésével egyre több biológiai (főleg érintési, érintkezési) nyomról állapítható meg, hogy nem egy, hanem több személytől származott. Klasszikus biológiai anyagmaradványok és testvázadékok (vér, nyál, ondó, hüvelyvázadék) személyek közötti keveredése is gyakran előfordul például szexuális bűncselekmények esetén. A biológiai anyagok keveredése különböző lehet a személyek száma, illetve az egyes személyi komponensek abszolút és relatív mennyisége tekintetében. A különböző típusú kevert anyagmaradványok eltérő értékelési módszert kívánnak meg vagy tesznek lehetővé az interpretációt nehezítő körülmények és/vagy az eldöntendő kérdés függvényében. A legegyszerűbb értékelés során nem végzünk statisztikai számítást, csupán csak azt vizsgáljuk, hogy a kérdéses személy DNS-profilja kimutatható volt-e a nyomból (lehet – nem lehet kategorizálás). Abban az esetben, ha a kevert DNS-profilban az intenzívebb allélcúcsok alapján beazonosítható egy egyszemélyi domináló (major) komponens, akkor az egysze-

mélyi major DNS-profilra az egyezési valószínűség és a valószínűségi hányados a korábban megismert módszer szerint kiszámítható. A kevert biológiai nyomok teljes körű, de egyben a legösszetettebb statisztikai értékelését a Bayes-féle valószínűségi hányadosnak az egész kevert DNS-profilra (nemcsak annak major komponensére) történő meghatározása jelenti (Füredi, 2015).

A Bayes-elvű hipotézistesztelés nagyszerűsége abból is fakad, hogy rugalmasan lehet alkalmazni speciális problémák megoldására is, mint amilyen helyzetet a kevert biológiai anyagmaradványok jelentenek. Az alapelv itt is ugyanaz, mint az egyszemélyi DNS-profiloknál: az egyes hipotézisekhez tartozó genetikai bizonyíték valószínűségét kell megbecsülni. Kevert mintáknál – az egyszemélyi eredetű biológiai anyagmaradványokhoz viszonyítva – azonban gyakrabban lehet valóságalapja kettőnél több feltevésnek is. Például egy csoportosan elkövetett szexuális bűncselekmény bizonyítása során a vád és a védelem részéről az alábbi hipotézisek is elhangozhatnak:

A kevert DNS-profilú hüvelytörlet a sértett és

- $H_p$ : az egyik vádlott biológiai anyagát tartalmazza (vád),
- $H_{d1}$ : egy ismeretlen férfi biológiai anyagát tartalmazza (védelem1),
- $H_{d2}$ : két ismeretlen férfi biológiai anyagát tartalmazza (védelem2),
- $H_{d3}$ : a gyanúsított bátyjának biológiai anyagát tartalmazza (védelem3).

Kevert minták esetén a valószínűségi hányados kiszámítása úgy történik, hogy mind a vád, mind a védelem feltevésére külön-külön meghatározzuk azon genotípusok kombinációit és a hozzájuk tartozó valószínűségeket, amelyek pontosan kiadják az anyagmaradvány kevert DNS-profilját. Ezt egy egyszerű példával szemléltetve, ha a vizsgálati minta genotípusa  $A/B/C$ , a sértett  $A/B$  és a terhelt  $B/C$ , akkor

- $Pr(E|H_p) = 1$ , mivel a sértett és a terhelt genotípusa együtt megegyezik az anyagmaradvány genotípusával;
- $Pr(E|H_d)$  kiszámításához fel kell írunk az összes lehetséges genotípus-kombinációt például arra a hipotézisre, hogy a minta a sértettől és egy ismeretlen személytől származott:  $(A/B)_{\text{sértett}}$  és  $(C/C)_{\text{ismeretlen}}$  vagy  $(A/B)_{\text{sértett}}$  és  $(A/C)_{\text{ismeretlen}}$  vagy  $(A/B)_{\text{sértett}}$  és  $(B/C)_{\text{ismeretlen}}$ . Ennek megfelelően a valószínűség:  $1 \times Pr(C/C)_{\text{ismeretlen}} + 1 \times Pr(A/C)_{\text{ismeretlen}} + 1 \times Pr(B/C)_{\text{ismeretlen}}$ .

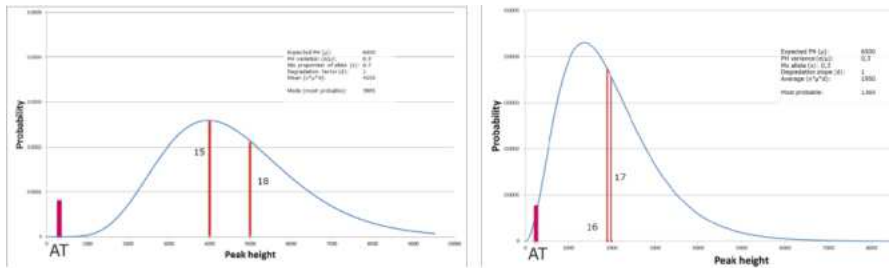
A valószínűségi hányados tehát erre a hipotézis-párra:

$$LR = \frac{1}{Pr(C/C)_{\text{ismeretlen}} + Pr(A/C)_{\text{ismeretlen}} + Pr(B/C)_{\text{ismeretlen}}}$$

A vád valószínűsége (az LR számlálója) azonban rögtön megváltozik akkor, ha a vád – ellentétben a védelemmel – azt állítja, hogy volt még egy ismeretlen elkövető is, akinek a DNS-profilja elfedve ugyan, de megtalálható a minta kevert DNS-profiljában. Ez az átfedés csak a következő ismeretlen elkövetői genotípus-kombinációk esetében valósulhat meg:  $(A/A)_{\text{ismeretlen}}$  vagy  $(A/B)_{\text{ismeretlen}}$  vagy  $(A/C)_{\text{ismeretlen}}$  vagy  $(B/B)_{\text{ismeretlen}}$  vagy  $(B/C)_{\text{ismeretlen}}$  vagy  $(C/C)_{\text{ismeretlen}}$ . A vád valószínűsége ebben az esetben a  $Pr(A/A)_{\text{ismeretlen}} + Pr(A/B)_{\text{ismeretlen}} + Pr(A/C)_{\text{ismeretlen}} + Pr(B/B)_{\text{ismeretlen}} + Pr(B/C)_{\text{ismeretlen}} + Pr(C/C)_{\text{ismeretlen}}$  összeg lesz, amely mindig kisebb 1-nél, ha az emberi népességben a vizsgált lokuszon A, B és C allél mellett más allél(ok) is előfordul(nak). Ennélfogva az így kiszámolt valószínűségi hányados kisebb lesz a fenti képlettel kalkulált értékhez képest, azaz a genetikai bizonyíték kevésbé lesz terhelő a vádlottra nézve. Amennyiben az eljáró hatóság a vád/felperes és/vagy a védelem/alperes oldaláról egynél több magyarázatot is valószínűnek tart a biológiai anyagmaradvány keletkezésére, akkor ennek megfelelően a szakértőnek több LR-értéket kell kiszámi-

tania. Az eljáró hatóság az ártatlanság vélelme alapján általában a gyanúsítotttra nézve a legkevésbé terhelő (legkisebb) LR-értéket építi be a bizonyítékok láncolatába. A hipotézisek felállításához az alpopulációs elmélet szerint definiálni kell az ismert nyomhagyó személyeket, az ismert, biológiai nyomot nem hagyó személyeket, valamint az ismeretlen nyomhagyó személyek számát. Ez utóbbi sokszor vita tárgya lehet. Ha nincs a felek között megegyezés, akkor szakértői gyakorlat szerint általában 2–4 (ismert + ismeretlen) személyre kell végigszámolni a valószínűségi hányadosokat. További statisztikai értékelési nehézséget jelent az, ha közeli rokon személyek vagy különböző populációcsoportba tartozó emberek biológiai anyaga van a vizsgálati mintában, és/vagy a kevert DNS-profil nem teljes (részleges) a biológiai anyagmaradvány alacsony DNS-tartalma vagy bomlott állapota miatt (Füredi, 2015).

Az előbbieken leírt LR-kalkulációkat félfolytonos statisztikai modellű (kvalitatív) valószínűsítési (probabilisztikus) számításoknak hívjuk, mivel az alléltípusok mellett – ahogy azt már láttuk – képesek statisztikailag kezelni a bűnügyi anyagmaradványoknál gyakran előforduló egyes jelenségeket (például allélkiesés és allélbeesés), azonban az allélok detektált intenzitását, mint hasznosítható információt nem veszik figyelembe. Az allélintenzitások többszemélyi eredetű (kevert) biológiai anyagmaradványoknál bírnak nagy jelentőséggel, ahol is segíthetnek az egymáshoz képest több vagy kevesebb DNS-t hátra hagyó személyek megbízhatóbb azonosításában (Bleka, Benschop, Storvik & Gill, 2016). A fluoreszcens PCR-rel felsokszorozott és kapilláris elektroforézis (CE) fragmensanalízissel elválasztott heterozigóta STR-allélok intenzitása úgynevezett gamma-eloszlással modellezhető. A PCR-amplifikáció sztochasztikája miatt még egysezemélyi mintáknál is gyakran előfordul, hogy a heterozigóta STR-lokuszt két allélja nem egyforma erősségű. Optimális vizsgálati körülmények között ez az eltérés kis mértékű és kisebb gyakoriságú. Ilyenkor a vizsgált lokuszt alléljainak várható csúcsintenzitásai keskeny csúcsú valószínűségi sűrűségfüggvényt mutatnak (F7. számú ábra jobb oldali grafikonja).



F7. számú ábra

Egy STR-lokuszt két heterozigóta genotípusának allélcúcs-intenzitási gyakoriságai sűrűségfüggvényekkel ábrázolva

Alacsony DNS-tartalmú, bomlott vagy PCR-gátló (inhibitor) anyagokat tartalmazó biológiai anyagmaradványok esetén az intenzitásokban mérhető eltérés nagyobb mértékű és gyakoribb lehet, így ilyenkor ez a sűrűségfüggvény-csúcs laposabb (F7. számú ábra bal oldali grafikonja). A teljesen folytonos statisztikai modellű (kvantitatív) szoftverek a nyomhagyásra felállított hipotéziseknek megfelelően, az előbbieken tárgyalt, vagy ahhoz hasonló intenzitáseloszlási függvények segítségével – kevert minták esetében is – kiszámítják a vizsgált feltevéshez leginkább illeszkedő DNS-profilok valószínűségeit a DNS-profil alkotó allél-, stutter- és allélbeesési csúcsok intenzitásának, illetve a DNS-profilok keveredési arányának és degradációs fokának megbecslésével. A szoftverek az illesztést általában a Maximum Likelihood Estimation (MLE) módszerével végzik, amikor is a biológiai anyagmaradványt hátrahagyó személy(ek) DNS-profiljának ismeretlen, meghatározandó paramétereit (a nyomhagyó személyek alléljainak intenzitását és azok varianciáját, keveredési arányát, stutereződését és degradációját) sorozatosan mindaddig változtatgatják, amíg az adott hipotézisre számolt DNS-profil valószínűség maximális értéket vesz fel. Amelyik hipotézisnek (leg)magasabb az így meghatározott DNS-profil valószínűsége, azt a feltevést támasztja alá a kvantitatív statisztikájú genetikai vizsgálat. A kvantitatív statisztikájú szoftverek az egyes hipotézisekhez illesz-

tett allélintenzitásoknak a megfigyelt értékekhez való illeszkedési pontosságát is meg tudják határozni úgynevezett modellilleszkedési validációs tesztek segítségével, és jelzik, ha a pontatlanság már nem elfogadható mértékű (Benschop et al., 2019).

**UJVÁRI ZSOLT – METZGER MÁTÉ**

## **A fotogrammetria kriminalisztikai alkalmazása – tudományosan megalapozott módszerek fényképezőgép segítségével történő 3D képrögzítéshez**

### **Absztrakt**

Jelen tanulmány célja, hogy a szakirodalmi eredmények és gyakorlati tapasztalatok összefoglalója által módszertani segédletként szolgáljon a kriminalisztikai célú, fényképezőgép segítségével, fotogrammetria útján történő háromdimenziós képrögzítés és modellalkotás terén, elsődlegesen bűnügyi technikusok és igazságügyi szakértők számára. A tanulmány jogszabályi, illetve gyakorlati kontextusba helyezi a fotogrammetriai alapú háromdimenziós képrögzítést, mint a helyszíni és laboratóriumi dokumentáció potenciális eszközét. Az egyszerű, gyors és bárki által elsajátítható folyamat elsődlegesen fényképezési készségeket igényel, az útmutató éppen ezért nagy hangsúlyt fektet a legfontosabb gyakorlati fényképezési ismeretek összefoglalására, amely segítséget nyújt a célnak legmegfelelőbb kamera-, illetve fényképezési beállítások kiválasztásához. Bemutatásra kerül továbbá a modellalkotáshoz szükséges felvételsorozatok elkészítési metodikája, különböző méretű helyszínek és objektumok esetén – különös figyelemmel a módszer különböző tényezőkből adódó korlátaira –, továbbá a fényképalapú, szoftveres rekonstrukció és annak lépései. Ismertetésre kerülnek továbbá a módszer jelenlegi és jövőbeli, kriminalisztikai célú alkalmazási területei.

**Kulcsszavak:** kriminalisztikai fényképezés, fotogrammetria, háromdimenziós képrögzítés, módszertan



## Abstract

The aim of this study is to serve as a methodological guide through a summary of literature findings and practical experiences in the field of three-dimensional imaging and modeling via photogrammetry, primarily for crime scene investigators and forensic experts. The study contextualizes photogrammetry-based three-dimensional imaging within legal and practical frameworks as a potential tool for both on-site and laboratory documentation. The simple, fast, and easily learnable process primarily requires photography skills, therefore, the guide emphasizes summarizing the most important practical photography knowledge to aid in selecting the most suitable camera and photography settings for the task. Furthermore, the methodology for creating the necessary series of images for modeling is presented, considering various sizes of scenes and objects, with particular attention to the method's different constraints, as well as the steps of photo-based software reconstruction. Additionally, the current and future applications of the method in forensic contexts are discussed.

**Key words:** crime scene photography, photogrammetry, three-dimensional imaging, methodology

## A szemle képi úton történő dokumentációjának lehetőségei

A helyszíni szemlét – mint bizonyítási cselekményt – szabályozó jogi normák jelenleg nem teszik kötelezővé, hogy a szemlebizottság minden egyes helyszínen kép-, hang- vagy videófelvételt készítsen, valamint meglegelősen szűkszavúan fogalmazzanak ezen dokumentációs tevékenységek szabályozásáról.

A Büntetőeljárásról szóló 2017. évi XC. törvény<sup>1</sup> 207. § (2) bekezdése szerint: „A szemle alkalmával a bizonyítás szempontjából jelentős körül-

---

<sup>1</sup> 2017. évi XC. törvény a büntetőeljárásról.

*ményeket részletesen rögzíteni kell, így különösen a szemletárgy felkutatásának, összegyűjtésének menetét, módját, helyét és állapotát.”* A törvény kimondja továbbá, hogy *„A szemle tárgyáról, ha lehetséges és szükséges, kép-, hang-, illetve kép- és hangfelvételt, rajzot vagy vázlatot kell készíteni, és azt a jegyzőkönyvhöz kell csatolni.”* A bizonyítási cselekmények közös szabályai a 213. § (4) bekezdésében pedig ekként rendelkeznek: *„A szemléről, a bizonyítási kísérletről és a felismerésre bemutatásról – lehetőség szerint – kép- és hangfelvételt kell készíteni.”*

A nyomozás és az előkészítő eljárás részletes szabályairól szóló 100/2018. (VI. 8.) Korm. rendelet<sup>2</sup> a büntetőeljárásról szóló törvényben foglaltakon túl nem rendelkezik a szemle dokumentációjára vonatkozó egyéb, pontosabb szabályozásokkal.

Az egyes büntetőeljárás cselekményekre és a büntetőeljárásban részt vevő személyekre vonatkozó szabályokról szóló 12/2018. (VI. 12.) IM rendelet<sup>3</sup> részletesen tárgyalja az eljárási cselekmény során készítendő, a bíróság, ügyészség vagy nyomozó hatóság által elrendelt kép- és hangfelvételek készítésének követendő szabályait. Az ilyen típusú felvételek elkészítésére tehát csupán bizonyos körülmények között van szükség, annak érdekében, hogy az eljárási cselekmény jogszerű lefolytatása utólagosan ellenőrizhető legyen. A rendelet 56. § (1) bekezdése szerint: *„Kép- és hangfelvétel készítése esetén a kamerát úgy kell elhelyezni, és az eljárási cselekményt úgy kell elvégezni, hogy a kép- és hangfelvételen az eljárási cselekmény szempontjából jelentős valamennyi esemény, körülmény és nyilatkozat visszaidézhető módon észlelhető, valamint az eljárási cselekménnyel érintett személy azonosítható legyen.”* A (2) bekezdés szerint: *„A kamerát mozgatni és a látószögét változtatni kizárólag az eljárási cselekmény vezetőjének rendelkezése szerint lehet”,* ezen eszközök pedig a (3) bekezdésben foglaltak szerint biztosítják *„a jelen lévő valamely személy, helyszínrészlet*

---

<sup>2</sup> 100/2018. (VI. 8.) Korm. rendelet a nyomozás és az előkészítő eljárás részletes szabályairól.

<sup>3</sup> 12/2018. (VI. 12.) IM rendelet az egyes büntetőeljárás cselekményekre és a büntetőeljárásban részt vevő személyekre vonatkozó szabályokról.

vagy tárgy közvetlen figyelemmel kísérését”, valamint „az ügyirat képének rögzítését.”

A 2020. 11. 26. napján hatályon kívül helyezett 13/2012. (VII. 30.) ORFK utasítás<sup>4</sup> rendelkezett arról, hogy a bűnügyi technikus köteles egyrészt „a szemle során gondoskodni a képfelvételek, hangfelvételek, kép- és hangfelvételek elkészítéséről”, másrészt „közreműködni a szemlejegyzőkönyv, valamint az annak mellékletét képező helyszínvázlat, helyszínrajz és a képfelvételek, hangfelvételek, kép- és hangfelvételek, speciális eszköz által biztosított vizsgálati dokumentáció elkészítésében”. Az utasítás kimondta továbbá, hogy „a helyszín állapotát – a nyomok, az anyagmaradványok felkutatását és rögzítését megelőzően – utólag rekonstruálható módon, részletesen dokumentálni kell”, valamint különös részében rendelkezett többek között a halálesetek, továbbá járművek és fegyverrel kapcsolatos bűncselekmények helyszínének dokumentációjával kapcsolatos speciális feladatokról. Az utasítás záró rendelkezéseinek értelmében „A KR parancsnoka az NSZKK által kidolgozott eljárási és módszertani javaslat figyelembevételével gondoskodik a bűnügyi technikai tevékenységet segítő egységes módszertani útmutató kiadásáról”. A 13/2012. (VII. 30.) ORFK utasítást azonban a 32/2020. (XI. 19.) ORFK utasítás<sup>5</sup> hatályon kívül helyezte, helyébe más, hasonló norma nem lépett.

Részletes jogi szabályozás hiányában a szemle során történő képi dokumentáció, a helyszíni álló- és mozgóképek, helyszínvázlat és helyszínrajz

---

<sup>4</sup> 13/2012. (VII. 30.) ORFK utasítás a büntetőeljárások keretében lefolytatandó szemlék végrehajtásáról és a bűnügyi technikai tevékenység egységes szabályozásáról.

<sup>5</sup> 32/2020. (XI. 19.) ORFK utasítás a bűnügyi technikai tevékenységgel kapcsolatban egyes ORFK utasítások módosításáról, valamint hatályon kívül helyezéséről.

elkészítésének részletes, javasolt szakmai szabályait és ajánlásait a bűnügyi technikusok részére íródott módszertani útmutatók tartalmazzák.<sup>6,7</sup>

### ***Kriminalisztikai fényképezés***

A háromdimenziós képrögzítési technikák részletes bemutatása előtt elengedhetetlen a kriminalisztikai fényképezés alapelveinek bemutatása, mivel (a későbbiekben tárgyalt értelemszerű eltérésekkel) ezen elvek a háromdimenziós képrögzítési technológiák tekintetében is érvényesek. A kriminalisztikai fényképezés<sup>8,9,10</sup> a helyszíni szemle, mint bizonyítási cselekmény során, lehetőség szerint végrehajtandó dokumentációs eljárás, az ez úton készült fényképek pedig magyarázó feliratokkal ellátva, a szemletevékeny-ség sorrendjében a Robotzsaru Neo rendszerbe feltöltve vagy fényképmellékletbe összefűzve a szemlejegyzőkönyvhöz vagy jelentéshez csatolandók.

#### *A kriminalisztikai fényképezés alapelvei*

A kriminalisztikai fényképezésnek öt alapelv mentén kell megvalósulnia.

A hasznosság elve szerint a helyszín minden releváns részét meg kell örökíteni oly módon, hogy a felvételek kellően informatívak legyenek mindazok számára, akik nem jártak a helyszínen.

---

<sup>6</sup> Petrétei, D.: Álló- és mozgókép készítése, helyszínvázlat, helyszínrajz. In: Gárdonyi, G. (szerk.): Módszertani útmutató 1. bűnügyi technikusok részére. Nemzeti Közszolgálati Egyetem Rendészettudományi Kar. Budapest, 2014. 25-33. o.

Forrás: <http://hdl.handle.net/20.500.12944/100412>

<sup>7</sup> Ujvári Zs.: Látens nyomok és anyagmaradványok optikai úton történő felkutatása, kriminalisztikai fényképezése. In: Anti, Cs. & Gárdonyi, G. (Szerk.): Krimináltechnikai kézikönyv. Semmelweis Kiadó. Budapest, 2020. 21-43. o.

<sup>8</sup> Petrétei, D. (2014): i.m.

<sup>9</sup> Petrétei, D.: Nulladik mérföldkő. Pécsi Határőr Tudományos Közlemények XXII. 2020. 227-234. o.

<sup>10</sup> Petrétei, D.: A kriminalisztikai fényképezés egyes aktuális kérdései. Magyar Bűnüldöző 2020/1-2. szám. 12-22. o.

A tárgyilagosság elve szerint a képnek a helyszínt, illetve a fényképezett objektumot és annak állapotát akként kell bemutatnia, mint ahogyan az a helyszínen látható volt, a képek tartalmának utólagos megváltoztatása nem megengedett.

A világosság a képek minőségére, részletgazdagságára utal, minden felvételt úgy kell elkészíteni, hogy az jó megvilágítású, részlettelen elemektől (kiégésektől, bebukásoktól) mentes legyen.

Az élesség magáért beszél, törekedni kell olyan felvételek elkészítésére, amelyeknél a fő téma van fókuszban, annak lehető legnagyobb része éles, a fotó pedig bemozdulástól mentes.

A felvételeknek – leginkább a léptékes, méretarányos fényképeknek – továbbá torzításmentesnek kell lenniük annak érdekében, hogy a fényképezett objektum a fotó alapján is pontosan mérhető maradjon.

### *A fényképfelvételek fajtái*

A fényképfelvételeket négy csoportba sorolhatjuk az alapján, hogy a helyszín mely részét és milyen céllal mutatják be. Ezek a felvételek a szemle logikáját követve távolról közelítenek az apróbb objektumok, részletek felé, megmutatják a helyszín aktuális állapotát, térbe helyezik a helyszínt, illetve az ott talált tárgyakat, nyomokat és anyagmaradványokat. E fényképfelvételek fajtái az alábbiak:

- környezeti felvételek,
- áttekintő felvételek,
- csomóponti vagy középponti felvételek,
- részletfelvételek.

### *Fényképfelvételi módszerek és technikák*

Számos fényképezési módszer és technika áll a bűnügyi technikus rendelkezésére annak érdekében, hogy dokumentálhassa a nagy kiterjedésű helyszíneket és helyszíni objektumokat, bizonyos objektumok térbeli helyzetét vagy egymáshoz képesti elhelyezkedését, bizonyos objektumok méretét, valamint apró tárgyakat, nyomokat, anyagmaradványokat és elváltozásokat.

Ha egy helyszínrészlet vagy objektum túlságosan nagy kiterjedésű, vagy célszerű annak összefüggő felvételen történő bemutatása, lehetőség van több képből összeillesztett panorámakép elkészítésére. A panorámaképek segítséget nyújtanak a helyszín és bizonyos elemek áttekintésében azok számára, akik nem jártak a helyszínen. Ezek az alkalmazott módszer függvényében lehetnek:

- kör-,
- körcikk-,
- gömb-,
- gömbcikk- és
- vonalpanorámák.

Egy adott helyszínrész bemutatását, illetve egy objektum térbe helyezését segíti, ha több irányból is dokumentáljuk azt. Ez megvalósulhat két, egymással szemközti irányú találkozási felvétel vagy két, egymásra merőleges irányú keresztező felvétel elkészítése útján.

Bizonyos objektumokról készíthetők további egyedi felvételek a helyszíni állapotok jobb megértése, vagy egy adott elem jobb szemügyre vétele érdekében.

Elengedhetetlen, hogy a technikus bizonyos helyszínrészleteket, bűnjelket, nyomokat, anyagmaradványokat vagy elváltozásokat az eljárás későbbi szakaszaiban történő sikeres felhasználás érdekében mérhetően, egy

metrikus skála alkalmazásával dokumentáljon. Az így készített fényképek a léptékes vagy metrikus felvételek.

Bizonyos apró méretű objektumok speciális, nagy nagyítású fényképezési eljárást kívánnak. Ezek a valós mérethez közeli, 1:1 arányú leképezésben, makrofelvételek formájában, illetve ennél nagyobb arányú leképezésben, mikrofelvételek formájában kerülhetnek dokumentálásra.

### *A fényképezés korlátai*

Az egyre jobb minőségű képek rögzítésére alkalmas digitális kamerák a felsorolt módszerek és technikák alkalmazásával egyre látványosabb és részletgazdagabb felvételek útján teszik dokumentálhatóvá a helyszínt és annak elemeit. Azonban a kétdimenziós dokumentációnak mindig meglesznek a maga korlátai, hiszen nem teszik lehetővé, hogy teljes egészében tekintsük át a helyszínt, csupán annak a bűnügyi technikus által kiválasztott elemeibe nyújtanak bepillantást.

Előfordulhat, hogy bizonyos irrelevánsnak ítélt objektumok részletes fődokumentációja a helyszíni szemle során elmarad, azonban az eljárás későbbi szakaszaiban kiderül, hogy azok elhelyezkedése, állapota vagy mérete mégis relevanciával bír. Sok esetben ezek a hiányosságok már nem pótolhatók.

Kétdimenziós fényképfelvételeken csak abban az esetben van lehetőség méret meghatározására, ha azokon metrikus skála szerepel, illetve a fénykép megfelel a metrikus felvételekre vonatkozó szabályoknak és irányelveknek. Ekkor is csupán azon objektumok méretei állapíthatók meg kellő biztonsággal, amelyek a metrikus skálával egy síkban, a fényképezés tengelyére merőlegesen helyezkednek el.

Mindezek miatt a háromdimenziós térben létező objektumok kétdimenziós fényképfelvételen történő rögzítése óhatatlanul bizonyos mértékű információvesztéssel jár.<sup>11,12,13</sup>

### ***Kriminalisztikai mozgóképrögzítés***

A kriminalisztikai videófelvétel-rögzítés<sup>14</sup> – akár a fényképezés – szintén a helyszíni szemle, mint bizonyítási cselekmény során, lehetőség szerint végrehajtandó dokumentációs eljárás. A szemle alkalmával készített videókat megfelelő adathordozón kell csatolni a szemlejegyzőkönyvhöz vagy jelentéshez.

#### *A videófelvétel típusai*

A videófelvétel rögzítésének célja alapján alapvetően két típust különíthetünk el. Az egyik funkciója az eljárási cselekmény folyamatos, megszakítás nélküli dokumentációja kép- és hangrögzítés útján. Ebben az esetben mindig egy adott cselekmény kerül a középpontba, nem pedig maga a helyszín, és a megszakítás nélküli dokumentáció elsősorban az eljárási cselekmény jogszerű lefolytatását igazolja. Helyszíni szemlén ilyen céllal rendszerint

---

<sup>11</sup> Grassberger, M. & Verhoff, M. A.: Klinisch-forensische Fotodokumentation. In: Grassberger, M., Türk, E. & Yen, K. (szerk.): Klinisch-forensische Medizin. Springer. Vienna, 2013. 127-138. o.

Forrás: [https://doi.org/10.1007/978-3-211-99468-9\\_14](https://doi.org/10.1007/978-3-211-99468-9_14)

<sup>12</sup> Grassberger, M. & Schmid, H.: Die kriminalistische Untersuchungspraxis am Tatort. In: Grassberger, M. & Schmid, H. (szerk.): Todesermittlung – Befundaufnahme & Spurensicherung – Ein praktischer Leitfaden für Polizei, Juristen und Ärzte. Springer. Wien, New York, 2009. 221-256. o.

Forrás: <https://doi.org/10.1007/978-3-211-79960-4>

<sup>13</sup> Verhoff, M., Gehl, A., Kettner, M., Kreutz, K. & Ramsthaler, F.: Digitale forensische Fotodokumentation. Rechtsmedizin 2009/19. 369-381. o.

Forrás: <https://doi.org/10.1007/s00194-009-0626-z>

<sup>14</sup> Petrétei, D. (2014).



nem, csupán a bíróság, ügyészség vagy nyomozó hatóság által elrendelt speciális esetekben készülnek videófelvetelek.

A szemle során alkalmazott mozgókép-rögzítésre leginkább egymástól független, fényképfelveteleken nem vagy nehezen dokumentálható elemek kapcsán kerül sor. Ilyen például a helyszín megközelítése, a helyszín áttekintő jellegű bemutatása, bizonyos nyomok rögzítésének folyamata, holttest mozgatása és vetkőztetése vagy a jelen lévő szaktanácsadó nyilatkozata.

### *Videófelvétel-készítési technikák*

Attól függően, hogy mekkora térrészt kívánunk mozgóképen rögzíteni, az alábbi típusok különíthetők el:

- totál és nagy totál plán (a környezeti és áttekintő felvételekkel ekvivalens, nagylátószögű videórögzítés),
- kis totál plán (emberi léptékű videórögzítés),
- szekund plán (az emberi test felényi léptékű videórögzítés),
- premier plán (emberi arc léptékű videórögzítés),
- makro (valós mérethez közeli, 1:1 arányú leképezés).
- Helyszíni mozgókép legtöbbször a kamera pozíciójának változtatása, tehát mozgás közben készül. A kameramozgások típusai a következők:
  - svenk (a kamera helyet nem változtat, vízszintes vagy függőleges tengelye körül forog),
  - kocsizás (a kamera helyváltoztatása vízszintes irányban, előre, hátra, jobbra vagy balra),
  - daruzás (a kamera helyváltoztatása függőleges irányban, felfelé vagy lefelé),
  - fix kamera (a kamera mozdulatlan),
  - variózás (optikai közelítés vagy távolítás a kamera elmozdítása nélkül, zoom).

A helyszíni videófelvétel a fenti elemek ötvözésével készül.

### *A helyszín állapotának videófelvételen történő dokumentálása*

Bár videófelvételek leginkább a szemle dinamikus szakaszában készülnek, a statikus szakaszban készített, a helyszín eredeti állapotát dokumentáló mozgókép a környezeti és áttekintő fényképfelvételek mellett hasznos lehet olyan szempontból, hogy ez által az olyan szemlélő, aki nem vett részt a helyszíni szemlén, jobban átlátja majd a helyszín egészét, valamint összefüggőbb képet kap a releváns objektumok elhelyezkedéséről. A videófelvételen megjelenhetnek továbbá olyan, a szemle során irrelevánsnak gondolt elemek, amelyek a fényképmellékletben nem feltétlenül kerülnek bemutatásra kellő részletességgel és a későbbiekben relevanciával bírhatnak.

### *A mozgóképrögzítés korlátai*

A videófelvétel a helyszínt bejárva ugyan a folyamatos mozgókép, a sokféle plán és nézőpont által sokkal inkább segíti a helyszín felépítésének és a különböző objektumok elhelyezkedésének megértését, mint a fényképfelvételek, mégis, a videófelvételen is kizárólag az jelenik meg, amit a bűnügyi technikus a látóterbe helyez. Egyes elemek, rejtett zugok kimaradhatnak a kamera látóteréből, illetve a kamera mozgásából fakadóan gyakran nincs arra lehetőség, hogy egy fontos képkockát jó minőségben kimerevítsünk, vagy esetleg közelebbről megszemléljük az azon látható objektumokat.

A kamera túl gyors mozgása, rázkódása, illetve a sötét és világos területekhez való korlátozott alkalmazkodása jelentősen befolyásolja a felvétel minőségét, az objektumok láthatóságát, így a felhasználhatóságot is.

A mérhetőség szempontjából a videófelvetelek a fényképezéshez hasonló korlátokkal rendelkeznek. Csupán a léptékes felvételek kritériumainak megfelelő mozgóképek lehetnek alkalmasak bizonyos objektumok méretének megállapítására.

### ***Helyszínvázlat, helyszínrajz***

A helyszínvázlat és a helyszínrajz a helyszínről, annak egy releváns részletéről vagy objektumáról készült, általában felülnézeti, ám minden esetben méretarányos kép, amely tartalmazza az irányokat, valamint a releváns méreteket és távolságokat. Lehetőség szerint elkészítendő, kiegészíti a szemlejegyzőkönyvet. Készülhet kézzel, illetve számítógépes szoftver segítségével, lehet két- vagy háromdimenziós.<sup>15</sup>

#### *A helyszínrajz fajtái*

Annak függvényében, hogy a helyszín mely elemét, illetve milyen céllal kívánjuk helyszínrajzon ábrázolni, az alábbi típusokat különíthetjük el:

- általános (a bűncselekmény tágabb környezetét mutatja be, jelölendők rajta a környezeti és áttekintő felvételek),
- részletes (a cselekmény helyszínét és az ott található összes releváns objektumot mutatja be, jelölendők rajta az áttekintő felvételek, valamint a rögzített elváltozások),
- csomóponti (a helyszín olyan releváns részét ábrázolja, amely a részletes helyszínrajzon nehezen mutatható be),
- egyes tárgyakat ábrázoló (olyan objektumok esetén, amelyek fényképfelvételen nehezen mutathatók be).

---

<sup>15</sup> Petrétei, D. (2014): i.m.

### *A helyszínvázlat és helyszínrajz korlátai*

A helyszínvázlat a helyszínrajzzal szemben kevésbé pontos, nem tökéletesen méretarányos, gyakran csupán becsült méreteket tartalmaz.

Bár egy igazán jó minőségű helyszínrajz óriási segítséget nyújthat a szemlejegyzőkönyv és fényképmelléklet értelmezésében, annak elkészítése pontos helyszíni méréseket és rengeteg ráfordítást igényel, attól függetlenül, hogy szoftveresen, vagy kézzel rajzolva készül-e el. Gyakran szükség van továbbá megfelelő alaprajzok igénylésére, amelyek segíthetik a pontos helyszínrajz elkészítését. A helyszínrajz minősége és pontossága nagyban függ a rendelkezésre álló adatoktól és a készítő személyétől.

A helyszíni ábrázolás ezen módjának hátránya továbbá, hogy csupán a szemlejegyzőkönyvvel és fényképmelléklettel együtt nyer igazán értelmet, önmagában kevésbé alkalmas a helyszín vagy a cselekmény demonstrálására.

### ***Háromdimenziós képrögzítés a kriminalisztikában***

Amint fentebb láthattuk, a kétdimenziós képalkotás óhatatlanul jelentős információvesztéssel jár. A háromdimenziós képrögzítés a fénykép- és videófelvételekhez, valamint a helyszínvázlathoz és helyszínrajzhoz képest egy új dimenzióban nyújt betekintést a helyszínbe, ezáltal nagyban segíti a helyszínen, illetve annak adott, releváns térrészében történő tájékozódást. A háromdimenziós képalkotás által egy adott objektum akár tetszőleges nézetből is megtekinthetővé, megvizsgálhatóvá válik, így olyan részleteket is tartalmazhat, amelyek a kriminalisztikai fénykép- és videófelvételeken

nem szerepelnek. A háromdimenziós rekonstrukció kriminalisztikai alkalmazása az utóbbi évtizedben egyre elterjedtebbé vált.<sup>16,17</sup>

### *Sztereofényképezés*

A sztereofényképezés az egyik legrégebbi, térhatású felvételeket készítő eljárás a kriminalisztikában. A sztereo-fényképezőgép két lencséjén keresztül két, egymástól alig eltérő nézőpontból készít két különböző felvételt, két külön fényérzékeny objektumra, egy időben. Az ily módon készült sztereofelvételek egy nézőkészülék segítségével vagy anaglif<sup>18</sup> technikával egyetlen képbe összedolgozva, két különböző színszűrőjű (általában vörös és kék) szemüveg segítségével tekinthetők meg. A módszer mindössze térhatást kölcsönöz a képnek, amelynek különösebb kriminalisztikai jelentősége nincs, épp ezért felhasználása nem is terjedt el.

### *Kvázi-háromdimenziós körpanoráma*

A körpanoráma fix középpontból sugárirányban, egyedi felvételek illesztéséből készített képsorozat. A kriminalisztikai körpanoráma e képrögzítési technika szoftveresen megjelenített, kvázi-háromdimenziós formája. A képsorozat készülhet teljesen manuálisan, ám így nem szabályozható pontosan az elfordulás mértéke – ezáltal a képek átfedése –, valamint a függő-

---

<sup>16</sup> Petrétei, D.: Háromdimenziós képalkotás a kriminalisztikában. *Belügyi Szemle* 2016/7-8. szám. 77-86. o.

Forrás: <https://doi.org/10.38146/BSZ.2016.7-8.8>

<sup>17</sup> Metzger, M., Ujvári, Z., & Gárdonyi, G.: A fotogrammetria kriminalisztikai célú alkalmazása: helyszínek, holttestek, tárgyak rekonstrukciója három dimenzióban [Criminal Application of Photogrammetry: Three-Dimensional Reconstruction of Crime Scenes, Human Corpses and Objects]. *Belügyi Szemle* 2020/11. szám. 57-70. o.

Forrás: <https://doi.org/10.38146/BSZ.2020.11.4>

<sup>18</sup> Az anaglif kép témája két nézőpont felhasználásával készül, melyeket két különböző színréteggel jelenítenek meg ugyanazon képtérben, így előállítva a mélységérzetet.

leges irányú eltolódások az illesztett kép tetején és alján információvesztéssel járnak. Állvány segítségével – kizárólag vízszintes irányban mozgatva a fényképezőgépet – egyrészt szabályozható az elfordulás mértéke, másrészt a képek függőleges irányban történő elmozdulása, valamint a felvételek bemozdulása kiküszöbölhető. Léteznek olyan mobiltelefonra fejlesztett alkalmazások (például Panorama 360 Camera), amelyek megkönnyítik a körpanoráma elkészítését, segítségével elegendő a mobilkészítőkörbeforgatása, a szoftver pedig az ily módon készített mozgóképből állítja elő a körpanoráma-felvételt. Kriminalisztikai célokra olyan állványos eszközök állnak rendelkezésre, amelyek teljesen automatizáltak, kiváló minőségben, a fényképezőgép elfordulását pontosan szabályozva készítik el és illesztik a panorámaképet.

Az ilyen típusú felvételek megtekintése esetén nincs lehetőségünk ki-mozdulni a rögzítés pontjáról, gyakorlatilag nem látunk mást, mint egy kör-rénk vetített térhatású, ám kétdimenziós felvételt. Egyes képelemekre rá lehet ugyan közelíteni, ám csupán a képfelbontás határáig. Az ily módon alkotott kvázi-háromdimenziós térben nincs lehetőség mérések kivitelezésére.

### *Gömbpanoráma*

A körpanoráma-képekkel szemben a gömbpanoráma-felvételi eszközök nem csupán vízszintes, hanem függőleges síkban is forgatják a rajtuk elhelyezett kamerát. A Google StreetView felvételek hasonló technikával készülnek, ám azok esetében az óriási mennyiségű digitalizálandó adat nagy sebességű kivitelezést kíván, amely a minőség rovására megy. A kriminalisztikai célú eszközök képrögzítése lassabb, ezek azonban nagyobb felbontású, jó fénydinamikai átfogású, úgynevezett HDR felvételeket eredményeznek. Ha pedig ez a módszer kiegészül azzal, hogy ugyanabból a rögzítési pontból, ám más magasságból is készül egy hasonló gömbpano-

ráma, akkor a két eltérő pozíciójú gömbpanoráma-felvétel fúziójaként lehetővé válik bizonyos távolságok, illetve bizonyos objektumok méretének meghatározása (például Spheron-VR).

A kvázi-háromdimenziós körpanorámákhoz hasonlóan, az ilyen módon készült gömbpanorámák sem teszik lehetővé, hogy kimozduljunk a rögzítési pontból. A tér nagyobb szeletét látjuk azonban, amely bizonyos helyszíneken hasznosnak bizonyulhat, hiszen belterek esetén láthatóvá válik a padló és a mennyezet is. A kombinált gömbpanorámák nagy előnye a körpanorámákhoz képest a mérési lehetőség, bár ebben az esetben is csupán kétdimenziós felvételeket látunk egy gömbfelszínre vetítve, minimális háromdimenziós információval, ebből fakadóan a mérési pontosság meglehetősen kicsi, a középponttól távolodva pedig egyre csökken.

### *360°-os videófelvétel*

Nemrégiben megjelent, kvázi-háromdimenziós képalkotási eljárás, amely egy 360°-os mozgóképrögzítésű kamerarendszert használ mozgókép rögzítésére. A felvétel gyakorlatilag egy élő gömbpanoráma, amely két dimenzióban nézve tetszőlegesen forgatható bármely irányba. Mivel a felvétel gyakorlatilag 360°-os gömbpanorámák sora, amely a kamerát tartó személy mozgásával folyamatosan változik a térben, egy ilyen módszer által lehetőség nyílik arra, hogy bejárjuk a helyszínt, és bármely tetszőleges pontból körülnézzünk, amelyen a videórögzítő áthaladt. Az összes többi módszerrel ellentétben alkalmas mozgó objektumok dokumentálására.

Habár a kamerarendszer nagy fénydinamikai átfogású, HDR képalkotó, túl nagy fény-árnyék különbségek esetén még így is találkozhatunk részlettelenül fekete vagy fehér videóelemekkel. A módszer a helyszín áttekinthetőségére alkalmas ugyan, ám távolságok mérésére, bizonyos térrészek közelebbi megvizsgálására nem. További hátránya, hogy csak azon helyszíni elemek láthatók a felvételen, amelyek mentén a képrögzítő elhaladt.

### *Kriminalisztikai jelentőségű optikai 3D szkennerek*

Az optikai 3D szkennerek olyan, valódi háromdimenziós felvételek rögzítésére alkalmas berendezések, amelyek egy fényforrásból adott típusú fényt kibocsátva határozzák meg a környezet különböző pontjainak a szkennertől mért távolságát, ezáltal egy mérési pontokból álló háromdimenziós pontfelhőt készítenek, amelyen kirajzolódik a szkennelt objektumok geometriai felszíne és térbeli elhelyezkedése. Míg a kamerák szín alapú információt rögzítenek a látóterükbe eső objektumokról, ezzel szemben az optikai 3D szkennerek távolság alapú információt. A pontfelhők poligonokból álló háromdimenziós modellékké alakíthatók, ez az úgynevezett poligonháló („*mesh*”). A hálóra felhelyezhető a felületi színinformációt tartalmazó textúra. A textúrázott modell gyakorlatilag az objektum valóság-hű, fotorealisztikus mása, teljes egészében bejárható, minden eleme mérhető.

### *Lézerszkennerek*

Pontrögzítési elvüket tekintve két fő típusuk különíthető el: a repülési idő lézerszkennerek, valamint a háromszögelő lézerszkennerek. Működési mechanizmusukat tekintve léteznek statikus, állványról működtethető lézerszkennerek, amelyek automatikusan végzik a környezet digitalizálását, valamint mozgó lézerszkennerek, amelyek működtetéséhez folyamatos (emberi) asszisztencia szükséges. A pontfelhő általában egy, az optikai szkennerbe integrált, kalibrált kamera által fotótextúrával egészíthető ki, ennek segítségével fotorealisztikus háromdimenziós modell alkotható.

A repülési idő lézerszkennerek gyakorlatilag úgy működnek, mint egy nagysebességű lézeres távolságmérő: a fényimpulzusok oda-vissza útjának idejéből határozzák meg a tér egy adott objektumán lévő pont szkennertől mért távolságát. Akár több kilométeres hatótávolságúak lehetnek, ám pontosságuk viszonylag alacsony, csupán néhány milliméteres nagyságrendű.



A háromszögélő lézerszkennerek egy gyors és speciális autofókusz-kamerát tartalmaznak. A kamera a pásztázás alatt mindig arra a pontra állít élességet, amelyet a vonallézer éppen megvilágít. A háromszöget tehát három pont alkotja, a fényt kibocsátó vonallézer fénykibocsátó pontja, az objektum felszínén megjelenő lézerpont, valamint a kamera érzékelője, a rendszer pedig e három pont alapján számítja ki a szkennelt pont berendezéstől mért távolságát. A háromszögélő lézerszkennerek hatótávolsága alacsony, mindössze néhány méteres, pontosságuk azonban néhány tíz mikrométeres nagyságrendű.

A közepes hatótávolságú (~0,6–300 m) statikus 3D lézerszkennerek vonallézer(ek) segítségével, állványra szerelve, 360°-os szögben körbefordulva pásztázzák az objektumokat. A tér objektumainak minél pontosabb rögzítése több állásból történő szkennelést, illetve az ily módon nyert pontfelhők egymásra illesztését igényli. A módszer pontossága egyrészt eszközönként, másrészt a szkennertől mért távolsággal változik, hozzávetőlegesen 3–7 mm.

A nagy hatótávolságú (~100–7000 m) mozgó lézerszkennerek elsősorban légi úton történő felszíni 3D térképezésre használt eszközök. A felvétel általában repülőgépek, drónok, sőt, a legnagyobb hatótávolságú szkennerek esetén akár műholdak segítségével történhet. A szkennert hordozó légi járműnek rendelkeznie kell egy olyan helyzetmeghatározó navigációs rendszerrel, amely kellő pontossággal meg tudja határozni a szkennerek érzékelőjének abszolút helyzetét és irányultságát. Pontossága a hatótávolsághoz viszonyítva magas, 1,5–30 cm-es.

A közepes hatótávolságú (~1–150 m) mozgó lézerszkennerek talajközeli háromdimenziós felvételek készítésére lettek optimalizálva. Lehetővé teszik, hogy egy személy egy adott környezetben végigsétálva, menet közben, nagy sebességgel rögzítsen pontfelhőt és fotótextúrát az őt övező objektumokról, 360°-os szögben, tehát minden irányban. A szkennerek a háromszögélés elvén működik, az egyes rögzítési pillanatokat pedig valós időben illeszti egymásra. Mozgó képrögzítés alkalmával a mérések kivitelezéséhez ismerni kell, hogy a szkennerek a környező objektumokhoz képest éppen

hol helyezkedik el a térben, ezt pedig egy önálló modul teszi lehetővé. A terepbejárás végeztével a szkennerek egy komplett, illesztett modellt készítenek, 1–3 cm-es pontossággal azonban alulmúlja a statikus módszerekét.

A kis hatótávolságú (~0,05–4 m) kézi lézerszkennerek mozgathatók, egy objektum körüli folyamatos pásztázó/letapogató mozgásuk által alkotnak háromdimenziós pontfelhőt, a fentebb leírt háromszögletű módszerrel. Fontos különbség azonban a statikus szkennerekhez képest, hogy a képrögzítés közben a mérések kivitelezéséhez ismerni kell, hogy a szkennerek éppen hol és milyen irányultságban helyezkedik el a térben. Amennyiben a szkennerek pozíciójának érzékelése gyors mozgás, közelítés vagy távolítás alkalmával megszűnik, vissza kell állítani a szkennert egy már ismert pozícióba, hogy folytatni lehessen a rögzítést. Ezt segíti, hogy a szkennerek által rögzített pontfelhő valós időben jelenik meg a szoftvert futtató számítógép kijelzőjén, így nyomon követhető a szkennerek pozíciója, valamint a rögzítendő térrész digitalizálásának állapota. A kézi szkennerek rendszerint kisebb méretű objektumok néhány tíz mikrométeres pontosságú digitalizálására alkalmasak. A szkennelt objektumok mozgathatók, elforgathatók, így teljes felszínük digitalizálható, amennyiben a mozgás során csupán pozíciójuk változik meg, de alakjuk nem. A kézi szkennerek legtöbbször látható fényt érzékelő szenzorokkal is rendelkeznek, ezáltal az objektumok színeit és textúráját is képesek rögzíteni.

### *A lézerszkennerek korlátai*

Bár a lézerszkennerek gyors, automatizált 3D-rögzítést tesznek lehetővé, nem szabad elfelejteni, hogy a kriminalisztikai szempontból jelentős, nagy terek rögzítésére alkalmas statikus szkennerekkel számos pozícióból kell pontfelhőt készíteni attól függően, hogy a rögzítendő térrész geometriája mennyire komplex. Bár a 360°-os képrögzítés időtartama egy eszközönként és módszerenként meghatározott, fix érték, egy berendezett szoba megfelelő minőségű háromdimenziós rögzítése még a leggyorsabb lézerszkennerekkel is hosszú időt vehet igénybe. A felvett háromdimenziós modellek

illesztése, tisztítása és textúrázása rendkívül idő- és hardverigényes folyamat, továbbá megfelelő szakértelmet kíván.

A statikus lézerszkennerek a fotótextúrát a rögzítési pontokról készített gömbpanoráma-felvételekből állítják elő. Éppen ezért, a szkennelt objektumok textúrájának részletgazdagsága a szkennelési ponttól való távolság növekedésével csökken. A textúra minősége függ továbbá a szkennertől is.

Mint minden optikai, fényvisszaverődésen alapuló módszernek, a lézerszkennelésnek is megvannak a rögzítési korlátai. A módszer nem alkalmas transzparens, fényelnyelő és fényes (csillogó) felületek pontos rögzítésére. A lézerszkennelés a fényáteresztő felületek fénytörése miatt azok mögött a valóságtól eltérő képet, a fényelnyelő felületeken „lyukakat”, a fényes felületeken pedig műtermékeket eredményez, ezen, a valóságtól eltérő elváltozások egy része azonban szoftveresen némileg korrigálható. A fentiekben túl a lézerszkennerek alkalmazása némileg hátráltathatja a szemlebizottság munkáját, mivel a bizottság tagjainak a szkennelés időtartama el kell hagyniuk a szkennelés alatt álló területet.

Nem elhanyagolható szempont, hogy a lézerszkennerek a mai napig is rendkívül költséges eszközök, így nem szerepelnek a helyszínelő egységek alapfelszerelési között.

A lézerszkennerek által készített modellek mérete, illetve azok megjelenítésének hardverigénye azok bírósági felhasználását egyelőre ellehetetleníti.

### *Strukturáltfény szkennerek*

A strukturáltfény szkennerek egy fénymintázatot vetítenek az objektumok felszínére – általában egy LCD projektor segítségével vagy lézerinterferencia útján –, és a fénymintázatnak a szkennelt objektum felszínén történő torzulásai alapján határozzák meg a felszín egyes pontjainak szkennertől mért távolságát (a lézerszkennerek háromszögeltérő technikájához hason-

lóan). A strukturáلتfény szkennerek a lézerszkennerektől eltérően nem csupán egyetlen, hanem akár többmillió pont helyzetét is képesek meghatározni egyetlen felvillanás által. Kis hatósugarú, gyakran kézi eszközök, ezáltal kisebb objektumok rögzítésére alkalmasak. Rendkívül gyors, a kézi lézerszkennerekhez hasonló felbontású és pontosságú eszközök.

### *A Strukturáلتfény szkennerek korlátai*

A strukturáلتfény szkennerek a lézerszkennerekhez hasonló optikai 3D szkennerek, ezért azzal hasonló problémákba ütköznek a fényáteresztő, fényelnyelő és fényforrás felületek rögzítése. Mivel azonban a fénymintázat egyszerre nagy területet világít meg, a problémás felszínek esetén pontosabb modellt eredményez a lézeres eljárásnál.

A fény jellege miatt a módszer nem alkalmas nagy távolságokból történő 3D képrögzítésre.

A módszer érzékeny továbbá a környezet fényviszonyaira. Egyenletes megvilágítás mellett problémamentesen működik, azonban a kültéri, változó fény-árnyék viszonyokra sokkal érzékenyebb, mint a lézerszkennerek.

A strukturáلتfény szkennerek a lézerszkennerekhez hasonlóan költséges eszközök, így nem szerepelnek a helyszínelő egységek alapfelszerelési között, továbbá a modellek megjelenítésének hardverigénye azok bírósági felhasználását egyelőre ugyancsak ellehetetleníti.

## **A kriminalisztikai fotogrammetria**

A Nemzetközi Fotogrammetriai és Távérzékelési Társaság (International Society for Photogrammetry and Remote Sensing) definíciója szerint „*a fotogrammetria fényképeken és távolságadatokon alapuló, a tárgyak és helyek (helyszínek) háromdimenziós struktúrájára vonatkozó, megbízható geometriai és tematikus információk kinyerésének tudománya és technológiája*”. A bonyolultnak tűnő definíció ellenére egyszerűen arról van szó,

hogy több, egymással átfedésben lévő, kissé eltérő térbeli pozícióból készített fényképfelvétel alapulvételével a különböző tárgyak térbeli helyzete pontosan meghatározható. A különböző fotogrammetriai szoftverek felismerik az egymással szomszédos fényképek átfedő részeit, így képesek rekonstruálni a fényképfelvételeken szereplő tárgyak, valamint a környezet háromdimenziós struktúráját, amely egy mérési pontokból álló pontfelhő formájában vizualizálható. A pontfelhők poligonokból álló háromdimenziós modellekké alakíthatók, ez az úgynevezett háló („mesh”). A hálóra felhelyezhető a felületi színinformációt tartalmazó textúra. A textúrázott modell gyakorlatilag az objektum valóságghű, fotórealisztikus mása, az optikai 3D szkennerek modelljeihez hasonlóan teljes egészében bejárható, minden eleme mérhető.

Az egyre kifinomultabb képfeldolgozó szoftverek és algoritmusok, valamint a digitális fényképezőgépek és számítógépek fejlődése miatt a fotogrammetriai eljárások egyre gyakrabban jelennek meg a 3D lézerszkennelés alternatívájaként.<sup>19,20</sup>

### *A fotogrammetria előnyei*

A fotogrammetriai képalkotási eljárás számos előnnyel rendelkezik a hazai kriminalisztikában alkalmazott statikus és kézi lézerszkenneléshez képest. A képrögzítéshez egy digitális fényképezőgépen kívül nem szükséges ugyanis egyéb, költséges felszerelés, a fényképeket pedig (bizonyos alapvető szabályok betartása mellett) bárki elkészítheti. A fényképezési eljárás

---

<sup>19</sup> González-Merino, R., Fraile, A. D., Pérez, J. A. & Sánchez-López, E. M.: Validation of photogrammetry techniques performed on two lead ingots assigned to Linares Historical Heritage. *Procedia Manufacturing* 2017/13. 1405-1412. o.

Forrás: <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2017.09.152>

<sup>20</sup> Siebke, I., Campana, L., Ramstein, M., Furtwängler, A., Hafner, A. & Lösch, S.: The application of different 3D-scan-systems and photogrammetry at an excavation – A Neolithic dolmen from Switzerland. *Digital Applications in Archaeology and Cultural Heritage*. 2018. 1-11. o.

Forrás: <https://doi.org/10.1016/j.daach.2018.e00078>

optimális esetben rendkívül gyors, kisebb objektumok, egy-egy helyiség esetén csupán néhány percet vesz igénybe, és annak terjedelme rugalmasan a szemle igényeihez szabható, vagyis lehetőség van akár csak egyetlen helyiség, csak a holttest, vagy egyetlen tárgy rögzítésére is.<sup>21,22,23,24</sup>

---

<sup>21</sup> Urbanová, P., Hejna, P. & Jurda, M.: Testing photogrammetry-based techniques for three-dimensional surface documentation in forensic pathology. *Forensic Science International*. 2015. 77-86. o.

Forrás: <https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2015.03.005>

<sup>22</sup> Grabherr, S., Egger, C., Vilarino, R., Campana, L., Jotterand, M., & Dedouit, F.: Modern post-mortem imaging: an update on recent developments. *Forensic Sciences Research* 2017/2. 52-64. o.

Forrás: <https://doi.org/10.1080/20961790.2017.1330738>

<sup>23</sup> Villa, C. & Jacobsen, C.: The Application of Photogrammetry for Forensic 3D Recording of Crime Scenes, Evidence and People. *Essentials of Autopsy Practice* 2019. 1-18. o. Forrás: [https://doi.org/10.1007/978-3-030-24330-2\\_1](https://doi.org/10.1007/978-3-030-24330-2_1)

<sup>24</sup> Cuerrier-Richer, E.: Missing and murdered indigenous women and girls in Canada: a new population affinity assessment technique to aid in identification using 3D technology. *Forensic Sciences Research*, 2022/3. 427-439. o.

Forrás: <https://doi.org/10.1080/20961790.2021.2023417>

Holttestek bonctermi háromdimenziós rögzítésére ráadásul már automatizált megoldások is kidolgozásra kerültek.<sup>25,26,27,28,29,30,31</sup> A fotogrammetriai 3D modellek minősége és pontossága összemérhető a lézerszkennerral készített modellekével.<sup>32</sup> Az alkalmazott fényképezőgép specifikációjának

---

<sup>25</sup> Ebert, L. C., Ptacek, W., Naether, S., Fürst, M., Ross, S., Buck, U., Weber, S. & Thali, M.: Virtobot—a multi-functional robotic system for 3D surface scanning and automatic post mortem biopsy. *The International Journal of Medical Robotics and Computer Assisted Surgery* 2010/1. 18-27. o.

Forrás: <https://doi.org/10.1002/rcs.285>

<sup>26</sup> Ebert, L. C., Ptacek, W., Breitbeck, R., Fürst, M., Kronreif, G., Martinez, R. M., Thali, M. & Flach, P. M.: Virtobot 2.0: the future of automated surface documentation and CT-guided needle placement in forensic medicine. *Forensic Science, Medicine, and Pathology* 2014. 179-186. o.

Forrás: <https://doi.org/10.1007/s12024-013-9520-9>

<sup>27</sup> Ebert, L. C., Flach, P., Schweitzer, W., Leipner, A., Kottner, S., Gascho, D., Thali, M. J. & Breitbeck, R.: Forensic 3D surface documentation at the Institute of Forensic Medicine in Zurich—Workflow and communication pipeline. *Journal of Forensic Radiology and Imaging* 2016/5. 1-7. o.

Forrás: <https://doi.org/10.1016/j.jofri.2015.11.007>

<sup>28</sup> Kottner, S., Ebert, L. C., Ampanozi, G., Braun, M., Thali, M. J., Gascho, D., & D'Apuzzo, N.: A mobile, multi camera setup for 3D full body imaging in combination with post-mortem computed tomography procedures. In: D'Apuzzo, N. (szerk.): *Proceedings of 7th International Conference on 3D Body Scanning Technologies*. Lugano, Switzerland, 2016 Nov 30 – Dec 1, Lugano: Hometrica Consulting. 2016. 53-60. o.

Forrás: <https://doi.org/10.15221/16.053>

<sup>29</sup> Kottner, S., Schulz, M. M., Berger, F., Thali, M., & Gascho, D.: Beyond the visible spectrum—applying 3D multispectral full-body imaging to the VirtoScan system. *Forensic Science, Medicine and Pathology*. 2021. 565-576. o.

Forrás: <https://doi.org/10.1007/s12024-021-00420-x>

<sup>30</sup> Kottner, S., Ebert, L. C., Ampanozi, G., Braun, M., Thali, M. J., & Gascho, D. (2017). VirtoScan—a mobile, low-cost photogrammetry setup for fast post-mortem 3D full-body documentations in x-ray computed tomography and autopsy suites. *Forensic Science, Medicine, and Pathology*. 2017. 34-43. o.

Forrás: <https://doi.org/10.1007/s12024-016-9837-2>

<sup>31</sup> Villa, C., Flies, M. J. & Jacobsen, C.: Forensic 3D documentation of bodies: Simple and fast procedure for combining CT scanning with external photogrammetry data. *Journal of Forensic Radiology and Imaging*. 2018. e2-e7.

Forrás: <https://doi.org/10.1016/j.jofri.2017.11.003>

<sup>32</sup> Metzger, M., Ujvári, Z., & Gárdonyi, G. (2020): i.m.

és beállításainak függvényében pedig sokkal jobb minőségű, részletgazdagabb textúra készíthető, mint a lézerszkennerek – gyakran fix távolságból fotózó – integrált kameráival. A fotogrammetria továbbá ötvözi magában a kis és közepes hatótávolságú optikai képrögzítési lehetőségek előnyeit, hiszen egyetlen kamerával kis és nagy tárgytávolságú képek egyaránt készíthetők. Egyetlen fényképezőgép alkalmas tehát a legapróbb, néhány centiméteres objektumok, nyomok, tárgyak, holttestek, helyiségek, épületek vagy légifelvételek útján akár nagy kiterjedésű, nyílt területek háromdimenziós rögzítésére is. Egy helyszín vagy egy objektum 3D struktúrájának és textúrájának részletessége attól függ, milyen távolságból és milyen beállításokkal fényképezzük le az adott térrészeket.

### *A fotogrammetria korlátai*

Mint minden képalkotó eljárásnak, a fotogrammetriának is megvannak a maga korlátai. A fotogrammetriai képalkotás során rögzített fényképek szoftveres feldolgozását megnehezíti vagy ellehetetleníti minden olyan körülmény vagy külső hatás, amely a különböző pozíciókból készített fényképek közös pontjainak, átfedő részeinek szoftveres illesztését megakadályozza. Így például a túl kevés, illetve kevésbé átfedő fényképfelvételek illesztése problémába ütközhet vagy lehetetlen lehet. A csillogó, fényvisszaverő és áttetsző (például üveg) felületek, valamint a nagy kiterjedésű, részlettelen, homogén felületek (például fehér, festett fal) megfelelő rögzítése pedig komoly tapasztalatot és szoftveres utómunkát igényelhet.<sup>33</sup> A módszer mozgó objektumok (például élő személyek, légáramlat hatására elmozduló tárgyak, növényzet) rögzítését korlátozottan, illetve bizonyos körülmények között, többkamerás rögzítési rendszer alkalmazásával teszi lehetővé (megjegyzendő azonban, hogy ezen hátrányok szinte kivétel nélkül a 3D lézerszkennerek esetében is jelentkeznek).

---

<sup>33</sup> Edelman, G. J. & Aalders, M. C.: Photogrammetry using visible, infrared, hyperspectral and thermal imaging of crime scenes. *Forensic Science International*. 2018. 181-189. o. Forrás: <https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2018.09.025>



A légi felvételek útján történő fotogrammetriai képalkotás hatótávolsága a lézerszkenneres eljárásokhoz képest valamelyest korlátozottabb, és függ a felszín megvilágítottságtól.

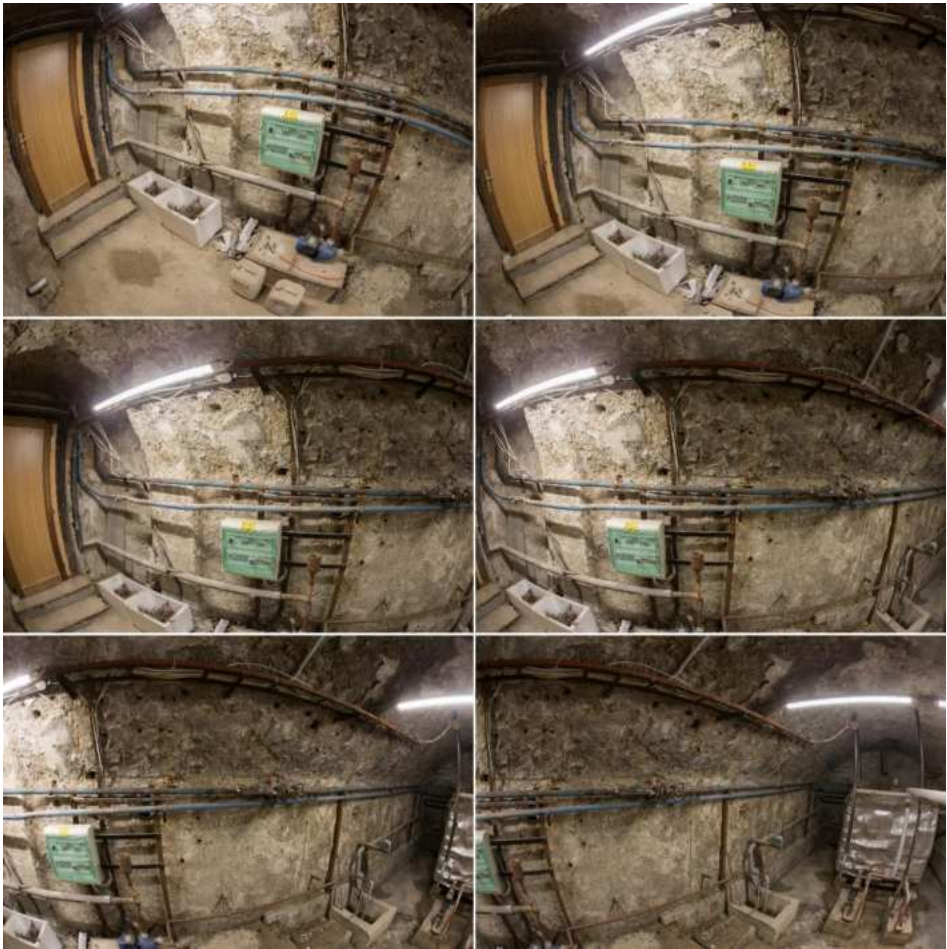
A rekonstrukcióhoz szükséges fényképfelvételek elkészítése az esetek többségében nem automatizált, emberi asszisztenciát és némi tapasztalatot igényel. A 3D modell megalkotása többlépcsős folyamat, amelyhez speciális szoftverre és (rosszabb minőségű fényképsorozat esetén) különleges szakismeretre is szükség lehet.

### **A fotogrammetria módszertana**

Szinte bármilyen képrögzítésre alkalmas eszköz segítségével készíthetők olyan felvételek, amelyek a fotogrammetria útján fotórealisztikus háromdimenziós modellé illeszthetők. Nem csupán digitális, hanem analóg felvételek is alkalmasak egy modell elkészítésére, mivel azonban manapság szinte kizárólag digitális eszközök állnak a bűnügyi technikusok és igazságügyi szakértők rendelkezésére, így ezen tanulmány csupán ez utóbbiakkal foglalkozik. A felvételek elkészítésére használhatunk tehát különböző fényképezőgépeket (kompakt, bridge, DSLR és MILC gépeket, akár mobiltelefon is), továbbá videokamerákat (amatőr és profi kamerákat, széles látószögű akciókamerákat, mobiltelefonokat).

Bár a videófelvétel kézenfekvőnek tűnhet e célra, hiszen egyetlen másodperc alatt számos képkockát rögzít, a kamera folyamatos mozgása miatt az egyes képkockák jelentős része azonban bemozdul. Ezek a bemozdulások az emberi szem számára a videó megtekintése során nem érzékelhetők, ám az egyes képkockákat önmagukban szemlélve láthatóvá válnak, és jelentős hatással vannak a fényképek szoftveres illeszthetőségére. A videokamerák e célra általában nagy távolságokból (például légi felvételek), kiváló fényviszonyok mellett (kültéri, nappali fények), és magas másodpercenként rögzített képkockaszám mellett alkalmazhatók. Ezen tanulmány a továbbiakban a fényképezőgéppel történő képrögzítést részletezi.

Minél jobb minőségű felvételek elkészítésére alkalmas eszköz áll rendelkezésünkre, annál nagyobb eséllyel tudunk abból pontos, jó minőségű, szépen textúrázott modellt alkotni. Ahhoz azonban, hogy az elkészített felvételekből sikeresen lehessen háromdimenziós modellt generálni, bizonyos szabályokat követni kell. A modellalkotás sikerességét alapvetően négy dolog befolyásolja: a képrögzítés módszertana, a képrögzítő eszköz beállításai, a környezet, valamint a képkalkotó szoftver.



1. számú ábra

Egy pincehelyiségben, 15mm-es halszemoptikával készített képsorozat részlete.  
A felvételek nagy átfedéssel készültek a jó illeszthetőség érdekében  
(a szerzők saját felvételei).

### ***A képrögzítési folyamat módszertani ajánlásai***

- 1) A fotogrammetriai háromdimenziós modell alapja egy olyan fényképsorozat, amely szisztematikusan, pásztázva halad végig a rögzítendő helyszínrészen vagy objektumon oly módon, hogy annak minden egyes részlete láthatóvá váljon a különböző felvételeken (1. számú ábra). A fényképsorozat egymást követő elemeinek legalább 50–70%-ban át kell fedniük egymással. Az ideális a legalább 90%-os átfedés két egymást követő kép között, ez azonban túlságosan sok felvétel elkészítését, ebből fakadóan pedig jóval nagyobb időráfordítást és a szoftveres feldolgozás során nagyobb számítási kapacitást igényel. Ha bizonyos felvételek valamilyen oknál fogva rossz minőségűek lettek (bemozdultak, túl- vagy alulexponáltak, éleetlenek), lehetőség van arra, hogy megismételjük azokat. Nem szükséges tökéletesen ugyanabból a pozícióból, szögből és távolságból elkészíteni az új felvételeket, azonban törekedni kell arra, hogy átfedjenek más felvételekkel, így a szoftver képes lesz illeszteni azt a modellt megalkotásakor. Automatikusan nem illeszthetők azok az egyedi felvételek, amelyek úgy dokumentálnak bizonyos részleteket, hogy a modellalkotó szoftver nem képes fedésbe hozni azokat a sorozat egyetlen felvételével sem. Az illesztést manuálisan ekkor is meg lehet kísérelni, azonban ez jelentős munkaterhet ró a szoftveres rekonstrukciót végző személyre.
- 2) Fényképezés közben nem csak a kamera irányultságát, hanem pozícióját is változtatni kell! Amíg egy kör- vagy gömbpanoráma esetén a fényképezőgép tengelyét csak korlátozottan változtatjuk, csupán egy adott pont körül forgatjuk vagy döntjük azt, a fotogrammetriai modell elkészítése során ez a módszer kerülendő, ugyanis a panorámafelvételek nem tartalmaznak mélységi információt. A fotogrammetria módszerével különböző nézőpontokból elkészített, nagy átfedésű fényképek alapján lehet a legjobb háromdimenziós modellt alkotni (2. számú ábra).



2. számú ábra

Egy pincehelyiség háromdimenziós modelljének részlete. Az apró, fehér téglalapok jelölik az egyes fényképek elkészítésének helyét. Jól látható, hogy egy komplex geometriájú helyiség modellezéséhez adott esetben több száz, különböző pozíciójú és irányultságú fényképfelvétel elkészítése szükséges (a szerzők saját felvétele)

- 3) Minél távolabbról fotózunk egy objektumot, annál kevesebb felvételt szükséges a háromdimenziós modell illesztéséhez, ám ennek megfelelően mind a modell, mind a textúra minősége gyengébb lesz.
- 4) Minél közelebről fotózunk egy objektumot, annál jobb minőségű, szebben textúrált modellt kapunk eredményül, ám ehhez a minimum 50–70%-os átfedések betartásával a tárgy távolság csökkenésével egyre több képre lesz szükség.
- 5) Egy-egy objektum fotózása során nem szükséges minden felvételt ugyanolyan távolságból elkészíteni. Ha bizonyos releváns részokről részletgazdagabb felvételeket szeretnénk készíteni, ezt fokozatos közelítéssel, az átfedések betartásával érhetjük el.

- 6) Minél több felvételt készítünk, illetve minél nagyobb ezeknek az átfedése, annál jobb minőségű és részletgazdagabb modellt kapunk eredményül. A túl sok felvétel elkészítése azonban időigényes. Ebben, ha túl kevés fényképet készítünk, azt kockáztatjuk, hogy a fényképezett objektum egyes elemei nem lesznek illeszthetők, ami textúrázatlan és strukturálatlan modellrészekhez vezethet (3. számú ábra), ám az is előfordulhat, hogy egyáltalán nem alkotható arról háromdimenziós modell. Éppen ezért a fényképezés során – különösen egy bűnügyi helyszínen – meg kell találni az arany középutat a fényképek száma és a ráfordított idő tekintetében.



3. számú ábra

Egy helyszín háromdimenziós modelljének részlete. Mivel nem a teljes helyiség került fényképezésre, csupán az abban található ágy felülete és az ágy melletti falfelület, így a helyiség további részei, így például a padló hiányosan, részletlenül, műtermékekkel terheltlen jelenik meg a háromdimenziós modellben  
(a szerzők saját felvétele, RealityCapture).

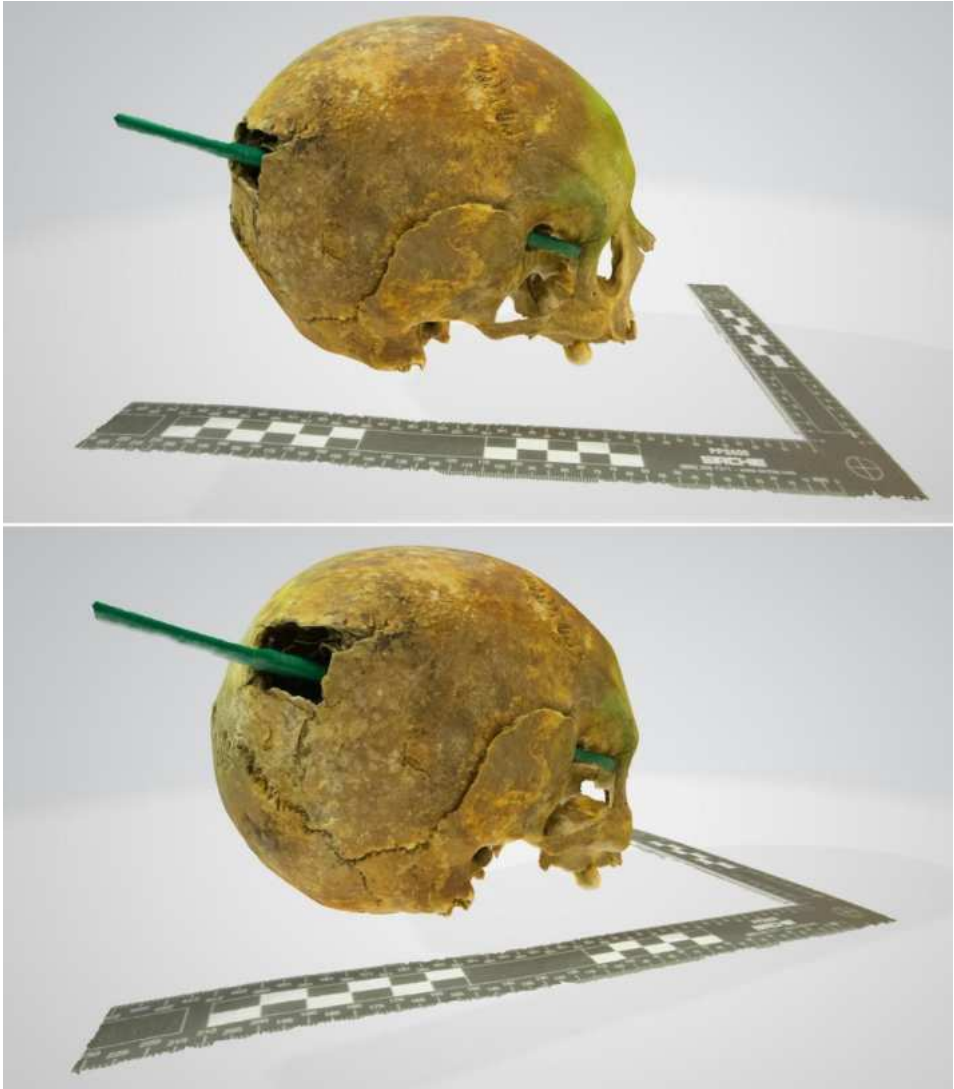
- 7) Bár laboratóriumi körülmények között – például egy nyom háromdimenziós digitalizálása esetén – a fényképezésre fordított időnek kevés jelentősége van, addig egy helyszínen az idő kulcsfaktor. Egy

emberölés helyszínén például nem érdemes, és sokszor nem is lehet több órát eltölteni azzal, hogy a bűnügyi technikus a teljes helyszínt eredeti állapotában kezdje el fotogrammetriai vagy egyéb háromdimenziós képrögzítő módszerekkel dokumentálni. Ugyanakkor egy ilyen típusú helyszín háromdimenziós dokumentációja kiemelkedően fontos lehet. Érdemes ezért a fényképezőgép fényérzékenységét, rekeszértékét előre beállítani a fényviszonyoknak megfelelően, és ezekkel a beállításokkal, gyorsan mozogva, kézből végigfotózni egy-egy helyiséget vagy objektumot. A gyorsaság mellett természetesen ügyelni kell arra, hogy egyetlen életlen, bemozdult felvétel se készüljön, ezek elkerülése érdekében rövid zársebességgel kell dolgozni (ha mindenképpen kompromisszumra kényszerülünk, a magasra állított fényérzékenység miatt zajos képek jobban illeszthetők, mint a bemozdult képek). Egy nyom fotogrammetriai úton történő rögzítésére legfeljebb 2 percut, egy holttest dokumentálására legfeljebb 3–5 percut, egy átlagos méretű szoba körbefotózására pedig legfeljebb 10 percut érdemes szánni, ha a körülmények nem engedik meg a megfontoltabb, körültekintőbb dokumentációt.

- 8) Amennyiben nem fix gyújtótávolságú objektív van a fényképezőgépre helyezve, úgy a képrögzítés folyamán a gyújtótávolság tetszőlegesen változtatható annak megfelelően, hogy egy adott téma nagylátószögű, normál- avagy teleobjektívet igényel.
- 9) Legalább két, egymásra merőleges helyzetű metrikus mérőeszközt kell helyezni minden digitalizálandó objektum környezetébe, és ezeket a fotogrammetriai folyamat során készített felvételeken (a fényképezett objektummal együtt) rögzíteni kell. Ezek a mérőeszközök szolgálnak majd referenciaként a modell méretezéséhez és a modellen végzendő mérésekhez (4. számú ábra).
- 10) A fotogrammetriai képrögzítés gyakorlatot és tapasztalatot igényel, mivel a folyamat jelentősen eltér a kriminalisztikai fényképezés megszokott menetétől. Éppen ezért fel kell készülni arra, hogy az első így készített modellek nem lesznek tökéletesek és hibátlanok.

Nagyon fontos, hogy ez ne szegje kedvét a módszert alkalmazó személynek, ugyanis a hibákból szerzett személyes tapasztalatok néhány kísérlet után jelentősen javítják majd a fényképezés folyamatát, gördülékenységét, és ennek eredményeképp a háromdimenziós modell minőségét is.





4. számú ábra

Lövési sérülést hordozó emberi koponya háromdimenziós modellje. A koponya mellett látható derékszögű, metrikus mérőeszköz teszi lehetővé a modell skálázását a mérések kivitelezése érdekében (a szerzők saját felvétele, RealityCapture).

### *A fényképezési beállítások módszertani ajánlásai*

Szinte bármilyen fényképezőgép segítségével készíthetünk háromdimenziós modellt fotogrammetriai módszerekkel, azonban a modell minősége nagyban függ attól, hogy milyen minőségűek az elkészített képek. A képek minősége pedig egyrészt a fényképezőgépek paramétereitől (szenzortípus, képfelbontás, használt objektív), másrészt a fényképezési beállításoktól (fényérzékenység, rekeszérték, záridő), harmadrészt pedig az alkalmazott fényképezési segédeszközöktől függ.

### *A digitális fényképezőgépek típusai*

Fényképezőgép és fényképezőgép, illetve az azok által alkotott kép között óriási a különbség. Számos paraméter befolyásolja a különböző kamerákkal készített felvételek minőségét, amelyek gyártónként és típusonként eltérőek. A fényképezőgépeket elsődlegesen a bennük elhelyezkedő fényérzékelő szenzor mérete alapján kategorizálhatjuk. A fényképezőgépek típusait az 5. számú ábra mutatja be.

A sztenderd az úgynevezett kisfilmes, 36 x 24 mm-es szenzor, ezt nevezzük teljes képkockás vagy fullframe szenzornak is. A különböző objektívek gyújtótávolsága az ilyen fullframe szenzorokon mutat valós értéket, tehát ezeken a szenzorokon pontosan akkora látószögű kép rajzolódik ki, mint amekkora az optikákon jelzett érték (például 24 mm, 50 mm, 200 mm). A fullframe szenzoros fényképezőgépek szinte mind cserélhető objektíves, rendkívül sok és részletes manuális beállítási lehetőséggel rendelkező kamerák. A legtöbbjük tükörreflexes működésű (DSLR), ám egyre inkább teret hódítanak a tükör nélküli cserélhető objektíves kamerák (MILC) is.

Léteznek a fullframe fényképezőgépeknél nagyobb szenzormérettel rendelkező, úgynevezett középformátumú fényképezőgépek is. Ezeknél nem csupán az objektív, hanem a fényérzékeny szenzort tartalmazó hátfal is cserélhető. Szenzoruk mérete 60 x 45 mm és 90 x 60 mm között változik, az

ilyen csúcskategóriás gépek felbontása eléri a 400 megapixel! Rendkívül drága, kevesek által használt eszközük. Ennél is ritkább és bonyolultabb szerkezetek a nagyformátumú fényképezőgépek, amelyeken az objektív egy homlokfalon, a szenzor pedig egy hátfalon helyezkedik el. A homlokfal és hátfal bármilyen irányba mozgatható, forgatható, dönthető, ezeket pedig nyújtható harmonika kihuzat köti össze. Szenzorméretük minimum 120 x 100 mm, de lehet akár 500 x 400 mm, vagy ennél nagyobb is, éppen ezért rendkívül jó minőségű és kiválóan nagyítható képek készíthetők velük, azonban használatuk körülményes és óriási precizitást kíván. A közép- és nagyformátumú fényképezőgépek fotogrammetriai célra való felhasználása az általuk készíthető óriási felbontású képek ellenére sem praktikus.

Ujvári Zsolt – Metzger Máté: A fotogrammetria kriminalisztikai alkalmazása – tudományosan megalapozott módszerek fényképezőgép segítségével történő 3D képrögzítéshez



5. számú ábra

Különböző fényképezőgép-típusok: A – nagyformátumú (Linhof Technika)<sup>34</sup>; B – középformátumú (Hasselblad X1D-50C II)<sup>35</sup>; C – fullframe szenzoros DSLR (Nikon D300)<sup>36</sup>; D – APS-C szenzoros DSLR (Canon EOS 850D)<sup>37</sup>; E – fullframe szenzoros MILC (Sony Alpha 7R)<sup>38</sup>; F – bridge (Canon PowerShot SX540 HS)<sup>39</sup>; G – kompakt (Sony Cyber-Shot DSC-W810 Kompakt)<sup>40</sup>; H – kompakt multikamerás mobiltelefon (iPhone 12 Pro)<sup>41</sup>

---

<sup>34</sup> Forrás: [https://fotomagazin.hu/upload\\_cikk/2014/03/07/1394191009/thumb/1-LT\\_Master\\_3000.jpg](https://fotomagazin.hu/upload_cikk/2014/03/07/1394191009/thumb/1-LT_Master_3000.jpg)

Letöltés ideje: 2021.04.28.

<sup>35</sup> Forrás: <https://p1.akcdn.net/full/618443788.hasselblad-x1d-50c-ii-body.jpg>

Letöltés ideje: 2021.04.28.

<sup>36</sup> Forrás: <https://www.220volt.hu/media/product/900x600/Nikon+D300s+vaz+hasznalt.jpg>

Letöltés ideje: 2021.04.28.

<sup>37</sup> Forrás: <https://webshop.camerakft.hu/img/4950/3925C002-4549292151275/3925-C002-4549292151275.jpg>

Letöltés ideje: 2021.04.28.

<sup>38</sup> Forrás: <https://m.blog.hu/mi/minerktech/image/fotozas/kezdoknek/milc.jpg>

Letöltés ideje: 2021.04.28.

<sup>39</sup> Forrás: <https://p1.akcdn.net/full/378154405.canon-powershot-sx540-hs-aj1067c002-aa.jpg>

Letöltés ideje: 2021.04.28.

<sup>40</sup> Forrás: <https://www.bestmarkt.hu/img/o/251766-ea984.png>

Letöltés ideje: 2021.04.28.

<sup>41</sup> Forrás: <http://ishop.hu/image/data/ESR/esr-camera-lens-2-pack-iphone-12-pro-kamera-lencse-vedo-boritas-fekete-2db-489-7950.jpg>

Letöltés ideje: 2021.04.28.

Az APS-C szenzorok mérete a fullframe szenzorokénál kisebb, azonban gyártónként eltérő. APS-C szenzormérettel az olcsó és közepes árfekvésű DSLR és MILC fényképezőgépek rendelkeznek. Ezek képminősége elsősorban a kisebb szenzornak köszönhetően gyengébb, mint a fullframe gépvázaké, valamint rendszerint kevesebb beállítási lehetőséggel és fényképezési opcióval rendelkeznek, mint nagyobb testvéreik. Ugyanakkor ár-érték arányuk tekintetében talán ezek a legalkalmasabbak az általános fotogrammetriai képrögzítésre. Az APS-C szenzorokat a fullframe szenzorokhoz mérten „vágott”, avagy crop szenzoroknak is szokás nevezni, ugyanis azok a 36 x 24 mm-es szenzormérethez képesti vágás mértékében az objektívek látómezejének kisebb részét látják, mint a fullframe kamerák. Ennek megfelelően az APS-C szenzoros fényképezőgépekre helyezett objektívek gyújtótávolsága a vágás mértékével korrigálandó. A crop faktor (vágási faktor), vagyis a korrekció például 22,3 x 14,9 mm-es szenzorméretű Canon EOS 850D fényképezőgépeknél 1,61. Tehát egy 100 mm-es gyújtótávolságú objektív ezen a fényképezőgépen  $100 \times 1,61 = 161$  mm-nek felel meg, tehát egy 100 mm-es lencse az APS-C szenzoron akkora látószögű képet alkot, mint amelyet egy 161 mm-es optika alkotna egy fullframe szenzoron.

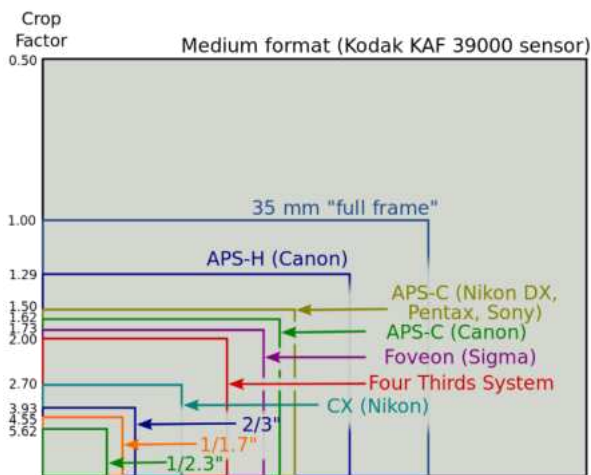
A bridge fényképezőgépek hidat képeznek a cserélhető objektíves és a legegyszerűbb működésű kompakt fényképezőgépek között. Objektívjük nem cserélhető, ám általában jó minőségű, nagy gyújtótávolság-átfogású lencsékkel felszerelt kamerák. Számos manuális beállítási lehetőséggel rendelkeznek. Szenzorméretük jellemzően kisebb az APS-C szenzorokénál (ám a csúcsmodelleké hozzávetőlegesen ugyanakkora), ennek megfelelően pedig képminőségük is valamelyest gyengébb.

A legegyszerűbb és legrosszabb képminőséggel rendelkező fényképezőgépek a kompakt kamerák. Legtöbbjük szenzormérete jelentősen kisebb minden előbb említett típusnál. A manuális beállítási lehetőségek korlátozottak, hiszen ezen kamerák legtöbbször az egyszerű „point and shoot” (célozz és lőj) típusú működtetésre lett tervezve. Ilyen típusú kamerák kerültek

integrálásra a legtöbb mobiltelefonba is. Bár a legköltséghatékonyabb eszközök, fotogrammetriai képrögzítésre a legkevésbé alkalmasak.

### *A szenzorok tulajdonságai*

A szenzor, vagyis a fényérzékeny lapka a fényképezőgépek egyik legfontosabb eleme. Ezen rajzolódik ki ugyanis a fényképezőgép objektívjén keresztül látott kép. A környezet egyes elemei (Nap, lámpák, egyéb fényforrások) fényt bocsátanak ki, más elemei pedig elnyelik, átreflektálják, vagy pedig visszaverik ezt a fényt. A kibocsátott és visszaverődő fény fotonok formájában hordoz információt, ezáltal látja a szemünk, és érzékeli a fényképezőgép szenzora is az objektumok színét, alakját és egyéb fizikai tulajdonságait.

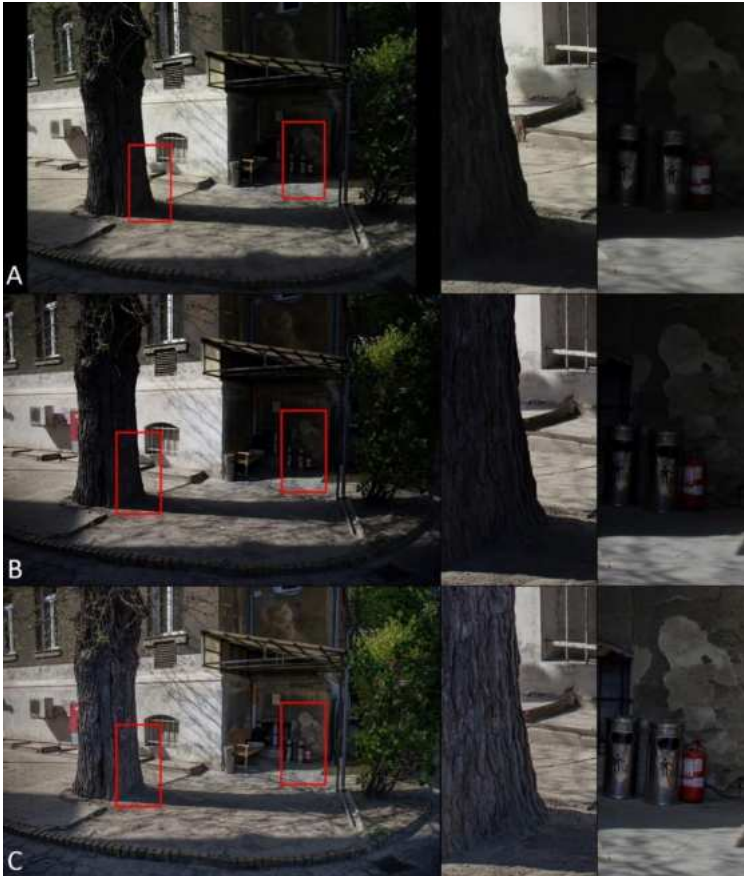


6. számú ábra

A különböző fényképezőgép szenzorok egymáshoz viszonyított mérete, valamint a hozzájuk tartozó crop faktor értékek, amelyek segítségével a fényképezőgépeken használt objektívek ekvivalens gyújtótávolság értéke kiszámolható<sup>42</sup>

<sup>42</sup> Forrás: <https://photographylife.com/what-is-crop-factor>  
Letöltés ideje: 2021.04.18.

A szenzorok pixeleiben fényérzékeny diódák helyezkednek el. Ezek fogják fel az objektív egy-egy pontján át beérkező, a szenzorra vetülő fotonokat, és alakítják azok energiáját elektromos jellé, végül képi adatokká. A szenzor két legfontosabb paramétere maga a szenzor mérete (6. számú ábra), illetve az azon elhelyezkedő pixelek mérete. Minél nagyobb egy pixel, annál több és jobb minőségű információt képes kinyerni a fotonokból. Úgy lehet elképzelni a szenzor felszínén elhelyezkedő pixeleket, mintha apró vödörök lennének, amelyekbe az objektíven át folyamatosan fotonok ömlelnének a környezet felől. Minél nagyobb egy ilyen vödör, annál nagyobb eséllyel fog fel fotont, illetve annál több foton befogadására képes. A fotonokból aztán színinformáció keletkezik, ami ideális esetben nem fehér és nem fekete. Ha túl kicsik a pixelek, néhányuk üresen marad, nem fogad be fotont, így nem hordoz információt, ami fekete képpontként jelenik meg a fotón. A túl apró pixelek hamarabb is telítődnek fotonokkal, mint a nagyok, így túl sok beérkező foton esetén megint csak nem hordoznak majd színinformációt, fehér képpontként jelennek meg. Tehát minél nagyobb a szenzoron elhelyezkedő pixelek mérete, annál nagyobb fénydinamika átfogására képesek. Más szóval a nagy pixelméretű szenzorok adott beállítások mellett egy adott térrész világos és árnyékos részeiről sokkal több színinformációt képesek begyűjteni, mint a kisebb pixelméretű szenzorok, így ez utóbbiakon a kép világos részein sok részlettelenül fehér, a sötét részekben pedig sok részlettelenül fekete elem keletkezik majd. A szenzorok méretkülönbsége okozta fénydinamika-átfogás eltéréseit a 7. számú ábra szemlélteti.



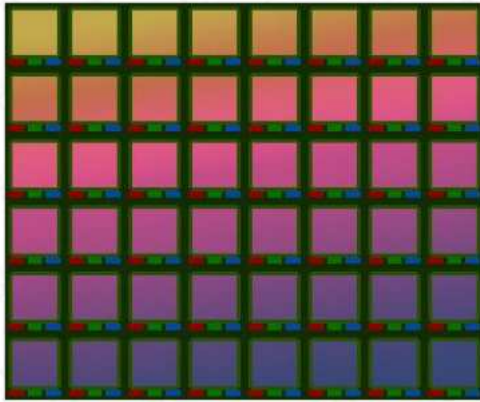
7. számú ábra

Ugyanolyan gyújtótávolságon és beállításokkal (24 mm, ISO100, f4, 1/800s) fényképezett térrész és annak kinagyított részletei, különböző szenzorméretű fényképezőgépeken.

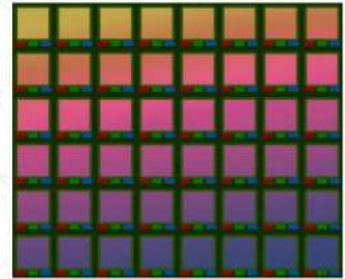
A – Canon PowerShot SX540 HS típusú bridge fényképezőgép felvétele; B – Canon EOS 6D fullframe DSLR fényképezőgép nyers, módosítás nélküli .JPG felvétele; C – Canon EOS 6D fullframe DSLR fényképezőgép nyers (RAW) felvételéből konvertált .JPG felvétele. A bridge fényképezőgép felvételének világos képrészletei valamelyest világosabbak, míg sötét képrészletei valamelyest sötétebbek, mint a fullframe fényképezőgép nyers felvételének részletei. A bridge fényképezőgép azonban automatikus korrekciókat végez a nyers felvétel kialakításakor, a képrészleteken tetten érhető a szoftveres dinamikánövelés és zajsűrés eredményeképp megjelenő részlettelenség (a szerzők saját felvételei)



Azonban a pixelek száma határozza meg a fénykép felbontását is, tehát a pixelek mérete nem növelhető a végtelenségig, hanem kellően alacsonyan kell tartani, úgy, hogy minél több ilyen pixel elférjen egy szenzoron. Minél nagyobb méretű egy szenzor, annál több nagy pixelt hordozhat magán. Azonban a kis szenzorméretű fényképezőgépek nem engedhetik meg maguknak azt, hogy ne tartsanak lépést a nagyobb szenzorú fényképezőgépek felbontásával. Nem csak a fullframe kamerák között találunk 20–30 megapixel felbontású szenzorokat, hanem a sokkal kisebb érzékelőjű kompakt kamerák között is. Ezért szükségszerűen a kisebb szenzorméretű kamerák pixelmérete jóval kisebb, pixelsűrűsége azonban jóval nagyobb (8. számú ábra). Az apró pixelek miatt ezeknek a kameráknak a fénydinamika-átfogaása sokkal kisebb, mint az ugyanekkora felbontású, nagy szenzorral rendelkező fényképezőgépeké. A magas pixelsűrűség miatt pedig a fotonokból kialakított elektromos jel, vagyis az elektronok sokkal nagyobb mértékben ugrálnak ide-oda a pixelek között, ami jelentős zajt eredményez. Tehát a nagy felbontású apró szenzorokra fotózott képeken összehasonlíthatatlanul nagyobb mennyiségű a képzaj, mint a nagy szenzorok képein (9. számú ábra, 10. számú ábra, 11. számú ábra).



**FULLFRAME**  
(48 PÍXELES SZENZOR)



**APS-C**  
(48 PÍXELES SZENZOR)

8. számú ábra

Ugyanannyi pixelt tartalmazó, tehát ugyanakkora felbontású fullframe és APS-C szenzor. Az APS-C szenzor pixeleinek mérete jóval kisebb, hisz csupán a méretcsökkentés által zsúfolható a kisebb szenzorra ugyanannyi képpont, mint a nagyobb szenzorokra<sup>43</sup>

---

<sup>43</sup> Forrás: <https://hispan.hu/fullframe-vs-aps-c-sensor/>  
Letöltés ideje: 2021.04.16.



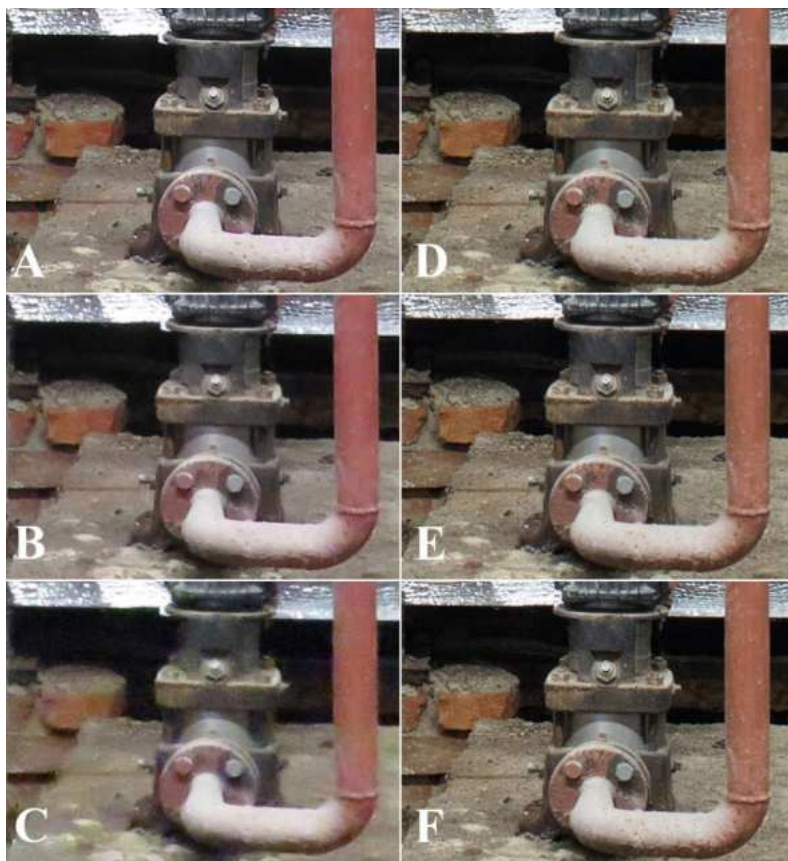
9. számú ábra

Azonos beállításokkal, azonos pozícióból, különböző fényképezőgép-típusokkal fotózott felvételek (gyújtótávolság: 24 mm; rekeszérték: f/4; záridő: 1/80; fényérzékenység: ISO3200). A – bridge típusú fényképezőgép (Canon PowerShot SX540 HS); B – full-frame DSLR kamera (Canon EOS 6D) (a szerzők saját felvételei)



10. számú ábra

Képrészletek a 9. ábráról, amelyek jól szemléltetik, hogy a kisebb szenzorméretű bridge kamerák ugyanolyan fényérzékenységi beállítások mellett (ISO 3200) sokkal zajosabb és részletlenebb képet eredményeznek. A – bridge típusú fényképezőgép (Canon PowerShot SX540 HS); B – fullframe DSLR kamera (Canon EOS 6D)  
(a szerzők saját felvételei)



11. számú ábra

Azonos gyújtótávolsággal (24 mm) és rekeszértékkal ( $f/4$ ), azonos pozícióból, különböző fényképezőgép-típusokkal fotózott felvételek részletei, más-más fényérzékenység- és záridő-beállítások mellett. A fényérzékenység növelésével a bridge fényképezőgéppel fotózott felvételek zajszintje jelentősen nő, részletgazdagsága pedig jelentősen csökken a fullfram szenzorméretű fényképezőgéppel fotózott képekéhez képest. A–C – Canon PowerShot SX540 HS; D–F – Canon EOS 6D; A – ISO100, 1/2s; B – ISO800, 1/20s; C – ISO3200, 1/80s; D – ISO100, 1/2s; E – ISO800, 1/20s; F – ISO3200, 1/80s (a szerzők saját felvételei).

A fotogrammetriai képrögzítéshez célszerű tehát nagyobb méretű (full-frame, APSC) szenzorral bíró, ugyanakkor kellően nagy képfelbontású kamerákat alkalmazni, mert ezek nagy fénydinamikai átfogásra alkalmasak, és képük még magas fényérzékenységi beállítások mellett is alig-alig zajosodik.

Bár a kis méretű szenzorral rendelkező fényképezőgépek a zajszint és fénydinamikai átfogás terén jóval alulmaradnak a nagy szenzorral rendelkező kamerákkal szemben, a technológia és a különböző algoritmusok fejlődésével egyre inkább kompenzálhatóvá válnak ezek a különbségek. Számos fényképezőgép – ideértve a mobiltelefonokba integrált kompakt kamerákat is – rendelkezik már HDR (high dynamic range), vagyis nagy dinamikatartományú fényképezési funkcióval, amely által sokkal nagyobb szín- és fényinformáció befogadását teszi lehetővé, előhívja a részletlenül fehér és fekete képelemek részleteit és finomítja az átmeneti színeket. Továbbá az újabb fényképezőgépek körében egyre elterjedtebb a magas ISO használata esetén történő automatikus zajszűrő funkció beépítése. Ennek eredményeképp ugyan szélsőséges fényérzékenységi értékek mellett is használható, viszonylag alacsony képzajjal rendelkező felvételeket készíthetünk, akár mobiltelefonnal is, ám a zajszűrés hátránya, hogy hatására nem csupán a mesterséges képzaj, hanem bizonyos képi információk is elvesznek.

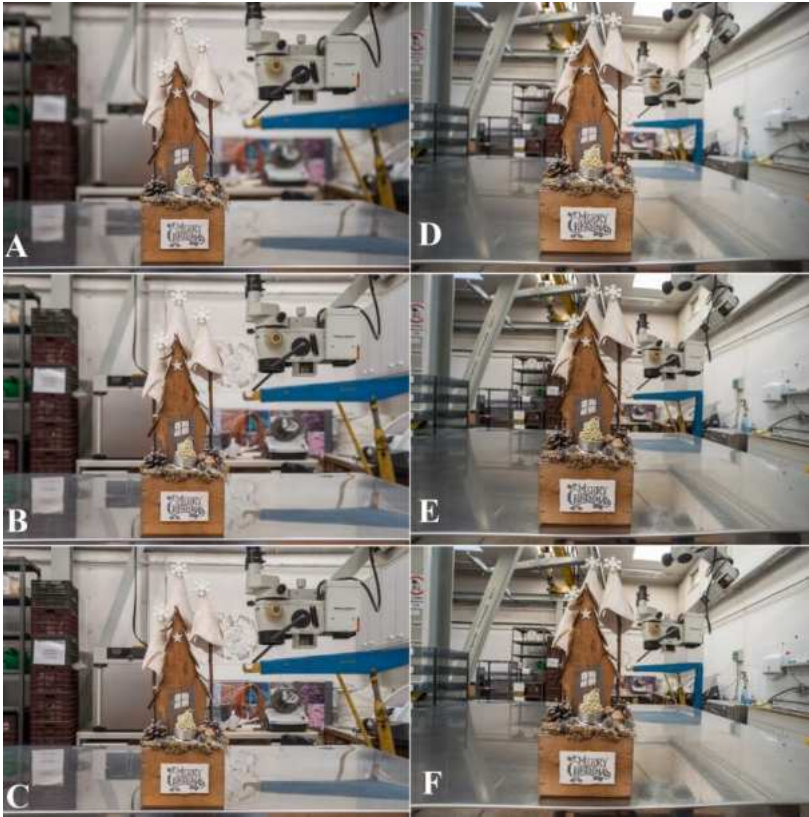
### *Objektívek – cserélhető objektíves fényképezőgépek*

Azt, hogy milyen objektívre van szükségünk a legjobb képek elkészítéséhez, mindig a szituáció határozza meg. Fotogrammetriai képrögzítés során alapvetően nagy mélységélességre van szükség ahhoz, hogy az illesztés során a szoftver minél több átfedő éles pont alapján alakíthassa ki a háromdimenziós modellt.

A mélységélességet három faktor határozza meg: az objektív gyújtótávolsága, a tárgytávolság, illetve az objektív rekesznyílásának értéke (12. számú ábra). Minél kisebb egy objektív gyújtótávolsága, annál nagyobb

mélységélességű képet eredményez. Az alacsony gyújtótávolságú nagylátószögű (50 mm alatti) objektívek a legalkalmasabbak nagy mélységélességű képek készítésére, normál objektívek (50 mm) már csak nagy távolságból, szűk rekeszértékkel fotózva használhatók fotogrammetriai célokra, teleobjektívek (~50 mm fölött) használata pedig nem javasolt.

Minél kisebb a tárgy távolság, annál inkább csökken az éles tartomány mélysége. Alacsony tárgy távolság esetén még a rendkívül széles látószögű objektívek éles tartománya is csekély, és a tartomány annál szűkebb, minél nagyobb az objektív gyújtótávolsága. Ha kisméretű objektumot, például egy feszítési nyomot fotózunk, extrém alacsony tárgy távolsággal kell dolgoznunk, erre a célra pedig szinte kizárólag makroobjektívek használhatók. Makroobjektívek között is találni széleslátószögű, normál, illetve teleobjektíveket. Célszerű ezek közül minél rövidebb gyújtótávolságút választani, amennyiben lehetőség van rá.



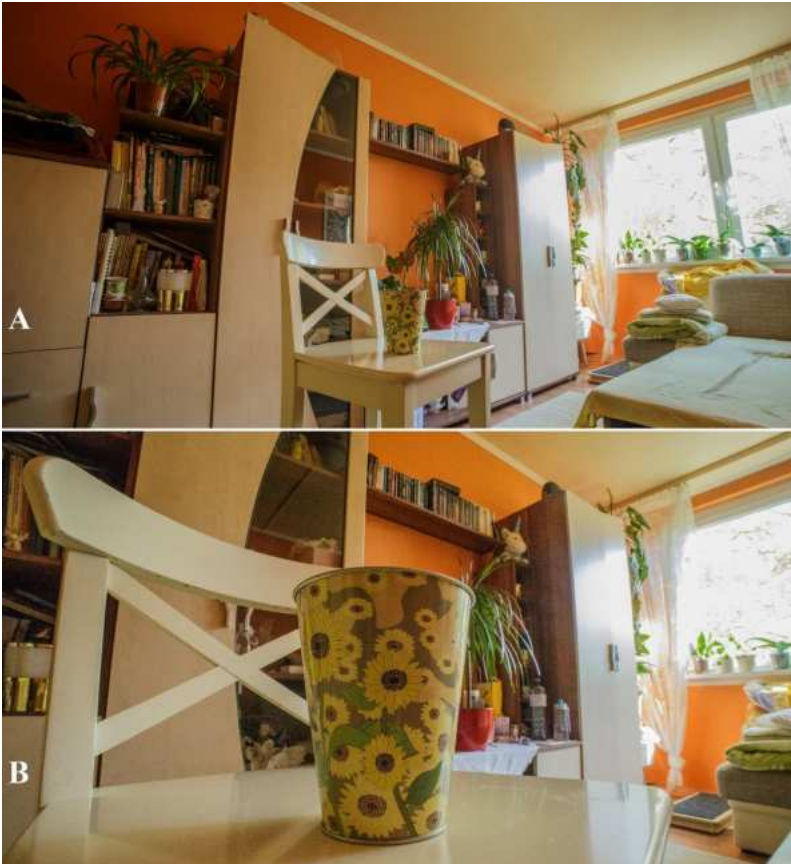
12. számú ábra

Normál (50 mm), illetve nagylátószögű (15 mm) objektívvel (ISO100 fényérzékenység-gel) készített felvételek ugyanabban a környezetben, ugyanarról a tárgyról, más-más tárgy távolsággal, úgy, hogy a fényképezett objektum nagyjából azonos méretben jelenjen meg a különböző objektívekkel fotózott felvételeken. Jól látható, hogy a 15 mm-es objektívvel szemben az 50 mm-es látószöge jóval kisebb, ezáltal a tér kisebb szeletét jeleníti meg, továbbá a megfelelő mélységélesség is csupán rendkívül szűk rekesznyílás alkalmazásával érhető el. A – 50 mm, f/4, 1/10s; B – 50 mm, f/8, 1/2s; C – 50 mm, f/22, 3,2s; D – 15 mm, f/4, 1/10s; E – 15 mm, f/8, 1/4s; F – 15 mm, f/22, 1,6s (a szerzők saját felvételei).

Az alacsony tárgy távolság okozta mélységélesség-csökkenés az objektív rekesznyílásának szűkítésével kompenzálható. A rekesznyílás szűkítésével azonban egyre kevesebb és kevesebb fény jut a kamera érzékelőjére,



ami pedig egyre hosszabb záridőt, vagy a fényérzékenység emelését igényli, hogy megfelelően exponált képet készíthessünk. Az extrém szűk (~20 fölötti) rekeszértékek jelentősen növelik ugyan az éles tartomány mélységét, ám ez áldozatokat kíván. A szűk rekeszértékkel fotózott képek a nagy mélységélesség ellenére valamelyest gyengébb minőségűek, élességük a diffrakció hatására lágylul. Ez befolyásolhatja a fotogrammetriai méréseket és a modell pontosságát. Továbbá gyengébb megvilágítás esetén a szűk rekeszrel történő fotózáskor válaszút elé állunk. Vagy a záridőt kell növelnünk – ami sok esetben állvány alkalmazását igényli –, vagy a fényérzékenységet – ami pedig növekvő képzajt eredményez (13. számú ábra).



13. számú ábra

Egyazon helyszínrészlet ugyanazon objektuma (virágos kaspó), más-más távolságokból, 15 mm-es nagylátószögű objektívvel fényképezve. A két kép eltérő rekesznyílással és eltérő fényérzékenységgel (ám ugyanolyan záridővel) készült annak érdekében, hogy a két felvétel mélységelessége hozzávetőlegesen ugyanolyan maradjon, valamint a téma állvány nélkül is bemozdulástól mentesen rögzíthető legyen. A – tárgy távolság: 1m,  $f/4$ , ISO1000,  $1/40$ s; B – tárgy távolság: 30 cm,  $f/32$ , ISO10000,  $1/40$ s (a szerzők saját felvételei)

A mélységelesség kiterjedésének változását különböző gyújtótávolságú objektívek, különböző rekeszértékek és különböző tárgy távolságok függvényében, egy Canon EOS 6D fényképezőgép esetén az 1. számú táblázat

mutatja be. Részletes, kameraspecifikus mélységélesség-kiterjedések az alkalmazott gyűjtőtávolság, rekeszérték és tárgyávolság megadásával a következő weboldalon határozhatók meg: <https://foto.kgyt.eu/dc1/>

<b>Gyűjtőtávolság</b>	<b>Rekeszérték</b>	<b>Tárgyávolság</b>	<b>Mélységélesség kiterjedése</b>
10 mm	2.8	1 m	5,71 m
10 mm	2.8	2 m	végtelen
10 mm	2.8	5 m	végtelen
10 mm	8	1 m	végtelen
10 mm	8	2 m	végtelen
10 mm	8	5 m	végtelen
10 mm	20	1 m	végtelen
10 mm	20	2 m	végtelen
10 mm	20	5 m	végtelen
24 mm	2.8	1 m	0,29 m
24 mm	2.8	2 m	1,27 m
24 mm	2.8	5 m	15,8 m
24 mm	8	1 m	0,97 m
24 mm	8	2 m	10,2 m
24 mm	8	5 m	végtelen
24 mm	20	1 m	végtelen
24 mm	20	2 m	végtelen
24 mm	20	5 m	végtelen
50 mm	2.8	1 m	0,06 m
50 mm	2.8	2 m	0,27 m
50 mm	2.8	5 m	1,73 m
50 mm	8	1 m	0,18 m

50 mm	8	2 m	0,78 m
50 mm	8	5 m	6,14 m
50 mm	20	1 m	0,49 m
50 mm	20	2 m	2,43 m
50 mm	20	5 m	végtelen

1. számú táblázat

Canon EOS 6D kamerával fotózott fényképek mélységélességének kiterjedése az alkalmazott gyújtótávolság, rekeszérték és tárgy távolság függvényében

A különböző objektívek képminősége számos paramétertől (például a lencsetagok számától, a frontlencse bevonatától) függ. A gyenge minőségű, olcsó optikák kevésbé éles képet rajzolnak, az objektív optikai tengelyétől távolodva, elsősorban a kép szegélyénél pedig szemmel látható leképezési hibákat okoznak. Ilyen hiba például a szférikus aberráció (a kép szélein jelentkező életlenedés), illetve a kromatikus aberráció (a képek szegélyein elhelyezkedő objektumok színes aurája – 14. számú ábra). Jó minőségű, költséges objektívek használata esetén az ilyen jellegű hibák jóval kisebb mértékben jelentkeznek. Általánosságban elmondható, hogy a fix gyújtótávolságú, nagy fényerejű objektívek (például Canon EF 24 mm f/1.4L II USM) képminősége a legjobb. Ezt követik a fix, nagy fényerejű, változtatható gyújtótávolságú zoomobjektívek (például Canon EF 24-70 mm f/2.8L II USM), a leggyengébb képminősége pedig általában a gyújtótávolság függvényében változó fényerejű zoomobjektíveknek (például Canon EF-S 18-55 mm f/4-5.6 IS STM) van.

Az objektívek élességállítási mechanizmusa leginkább a képrögzítés sebességét befolyásolja. Minél gyorsabb és pontosabb az élességállítás, annál dinamikusabban készíthető el a fotogrammetriai felvételsorozat. Fontos megjegyezni, hogy élőképes fényképezés esetén sok kamera fókuszálási sebessége sokkal lassabb, mint az optikai kereső használatakor. Gyors és hatékony fényképezéshez az ultrahangos (például Canon esetében USM,

Nikon esetében AF-S), vagy a legkorszerűbb léptetőmotoros (például Canon esetében STM, Nikon esetében AF-P) fókuszvezérlés a legalkalmasabb.

Az újabb objektívek gyakran rendelkeznek optikai képstabilizátorral (sőt, néha magukban a fényképezőgépvázakban találunk beépített stabilizátort). Ezek funkciója a kézremegés kompenzációja és a bemozdult felvételek kiküszöbölése. Ez talán pozitívumnak hangzik, hiszen a bekapcsolt képstabilizátor hosszabb záridők esetén növeli a bemozdulástól mentes felvételek elkészítésének esélyét, azonban fotogrammetriai szempontból használata nem javasolt, ugyanis befolyásolja a készített képek illeszthetőségét. Ha tehát a fényképezőgép vagy az objektív rendelkezik képstabilizátorral, fotogrammetriai képrögzítés alkalmával javasolt kikapcsolni azt.<sup>44</sup>

Az objektívek kiválasztása esetén rendkívül fontos, hogy figyelembe vegyük a kamerák crop faktorát, amely a kamera szenzorméretétől függ. Minél kisebb egy kamera szenzora a sztenderd kisfilmes (fullframe) mérethez képest, annál nagyobb a crop faktora, ezzel arányosan pedig nő az objektíveken feltüntetett gyújtótávolság értéke, tehát csökken az objektívek által leképezett látótér mérete (15. számú ábra). Mivel a fotogrammetriai képrögzítés elsődlegesen nagylátószögű lencsék használatát igényli – hogy minél nagyobb látótérben valósuljon meg a képrögzítés –, fontos tudnunk azt, hogy az adott kamera és objektív párosítása mekkora valós látószöget eredményez majd. A különböző típusú és szenzorméretű kamerák crop faktorát, valamint az ennek következtében történő gyújtótávolság-változást a 2. táblázat mutatja be.

---

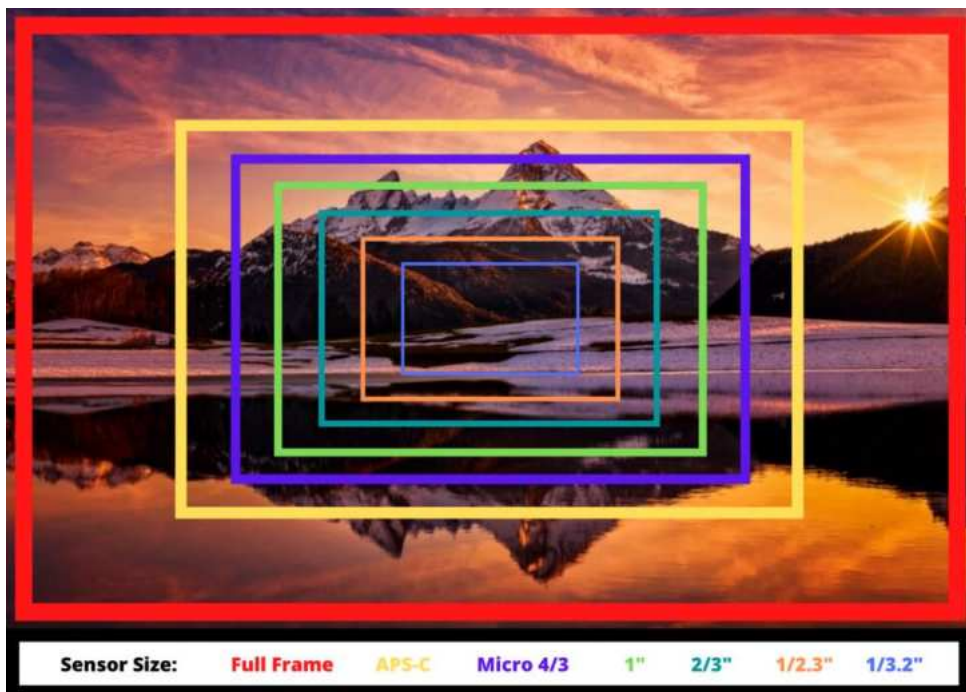
<sup>44</sup> Nocerino, E., Menna, F., & Verhoeven, G. J.: Good vibrations? How image stabilisation influences photogrammetry. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences* 2022. 395-400. o.

Forrás: <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLVI-2-W1-2022-395-2022>



14. számú ábra

15 mm-es halszemoptikával készített felvétel, illetve annak jobb felső sarki részlete. Jól látható a kép sarkainál fellépő szférikus és kromatikus aberráció, ennek eredményeként az ott elhelyezkedő objektumok életlenebbek lesznek, és gyakran színes aura veszi őket körül (a szerzők saját felvételei)



15. számú ábra

Ugyanolyan gyújtótávolságú objektívet használva különböző szenzorméretű kamerákon, a látótér a szenzorméret csökkenésével arányosan csökken. A látótér csökkenésének mértékét nevezzük crop faktornak, amely meghatározza, hogy mekkora látótér-részlet leképezésére képes az adott objektív az adott szenzoron. A különböző színű keretek az ugyanazzal az objektívvel a különböző méretű szenzorokra leképezett látótér nagyságát jelölik<sup>45</sup>

<sup>45</sup> Forrás: <https://www.photographytalk.com/camera-sensor-sizes-explained>  
Letöltés ideje: 2021.04.18.

Kameramodell	Kamera-típus	Szenzor-típus	Crop faktor	Ekvivalens gyújtótávolság (mm)		
				18	24	50
Canon EOS 6D	DSLR	fullframe	1	18	24	50
Nikon D850	DSLR	fullframe	1	18	24	50
Canon EOS-1D Mark IV	DSLR	APS-H	1,29	23,22	30,96	64,5
Nikon D3500	DSLR	APS-C	1,5	27	36	75
Pentax K-70	DSLR	APS-C	1,5	27	36	75
Sony Alpha 6000	MILC	APS-C	1,5	27	36	75
Fujifilm X-T200	MILC	APS-C	1,5	27	36	75
Canon EOS 850D	DSLR	APS-C	1,6	28,8	38,4	80
Sigma SD15	DSLR	Foveon	1,73	31,14	41,52	86,5
Olympus OM-D E-M10	MILC	4/3	2	36	48	100
Panasonic Lumix DC-GH5S	MILC	4/3	2	36	48	100
Nikon 1 J4	MILC	CX	2,7	48,6	64,8	135
Sony Cyber-shot DSC-RX100 III	kompakt	1"	2,7	48,6	64,8	135
Canon PowerShot G7 X	kompakt	1"	2,7	48,6	64,8	135
Fujifilm FinePix X-S1	bridge	2/3"	3,93	70,74	94,32	196,5
Canon PowerShot G16	kompakt	1/1.7"	4,55	81,9	109,2	227,5
Canon PowerShot SX540 HS	bridge	1/2.3"	5,62	101,16	134,88	281

2. számú táblázat

Különböző kamerák crop faktorának, ezáltal az objektívek gyújtótávolság-értékeinek változása a szenzorméret függvényében.



*Objektívek – fix objektíves fényképezőgépek*

A bridge és kompakt fényképezőgépek lencségei nem cserélhetők, azonban úgy vannak kialakítva, hogy a lehető legtöbb funkcióra (nagyítószoógú, teleobjektíves és makrofotózás) is kiválóan alkalmasak legyenek. Fejlesztésük iránya leginkább a szuper- és ultrazoom, vagyis az óriási zoomátfogás felé mozdult el. Fotogrammetriai szempontból azonban elsődlegesen a leg-rövidebb gyújtótávolság értéke a mérvadó. Esetükben nem a lencsén feltüntetett fókusztávolság-értékek, hanem az ebből származtatott ekvivalens gyújtótávolságok a meghatározók, amelyek a szenzorméret függvényében változnak. Néhány bridge és kompakt fényképezőgép ekvivalens gyújtótávolságait a 3. számú táblázat mutatja be.

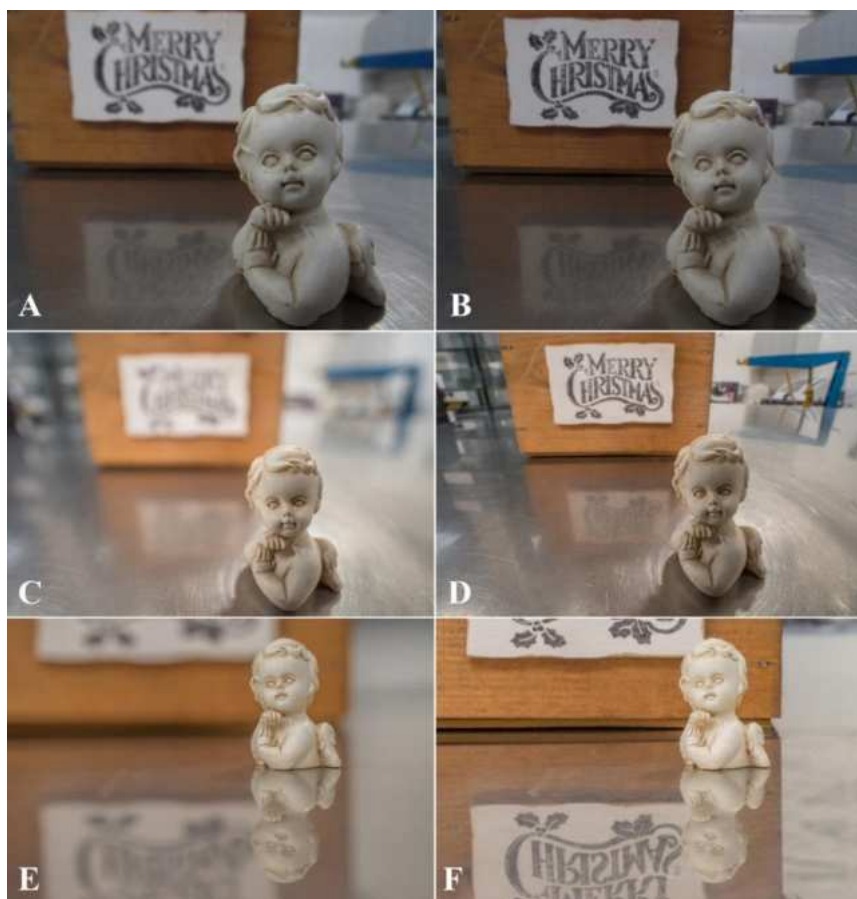
<b>Kameramodell</b>	<b>Kamera-típus</b>	<b>Szenzor-típus</b>	<b>Crop faktor</b>	<b>Fókusz-távolság</b>	<b>Ekvivalens gyújtótávolság</b>
Canon Powershot SX70 HS	bridge	1/2.3"	5,62	3,8–247 mm	21-1365mm
Canon PowerShot SX420 IS	bridge	1/2.3"	5,62	4,3–180,6 mm	24-1088 mm
Nikon Coolpix B500	bridge	1/2.3"	5,62	4,1–160 mm	22,5-900 mm
Nikon Coolpix P1000	bridge	1/2.3"	5,62	4,3–539 mm	24-3000 mm
Panasonic DC-FZ82	bridge	1/2.3"	5,62	3,58–210 mm	20-1200 mm
Panasonic Lumix DC-TZ90	kompakt	1/2.3"	5,62	4,3–129 mm	24-720 mm
Sony DSC-H300	bridge	1/2.3"	5,62	4,5–157,5 mm	27,2-954 mm

Sony Cyber-shot DSC-W800		kompakt	1/2.3"	5,62	4,6–23 mm	26–130 mm
Apple iPhone 12 Pro Max	Elsődleges	kompakt	1/2"	5,1	5,1 mm	26 mm
	Ultranagy- látó	kompakt	1/3.6"	8,44	1,54 mm	13 mm
	Tele	kompakt	1/3.4"	8,66	7,5 mm	65 mm
Sam- sung Galaxy Note20 Ultra	Elsődleges	kompakt	1/1.33"	3,57	7 mm	25 mm
	Ultranagy- látó	kompakt	1/2.55"	5,9	2,2 mm	13 mm
	Tele	kompakt	1/3.6"	8,8	14,2 mm	125 mm

3. számú táblázat

Különböző kompakt és bridge kamerák crop faktora és ekvivalens gyújtótávolságai a szenzorméret függvényében.

Amiben a kompakt és bridge fényképezőgépek igazi ereje rejlik, az a makrofotózás. Sok ilyen kamerában ugyanis lehetőség nyílik nagylátószögű makrofényképezésre, rendkívül kis tárgytávolság mellett. A nagylátószögű makrofotók mélységelesség-tartománya sokkal szélesebb, mint a DSLR és MILC fényképezőgépekre gyártott normál, illetve tele makroobjektívek esetében (16. számú ábra). Bár ez utóbbi fényképezőgépekhez is lehet találni a piacon megfelelő nagylátószögű makrooptikákat, ám ezek ára önmagában meghaladja a legtöbb kompakt és bridge kamera értékét.



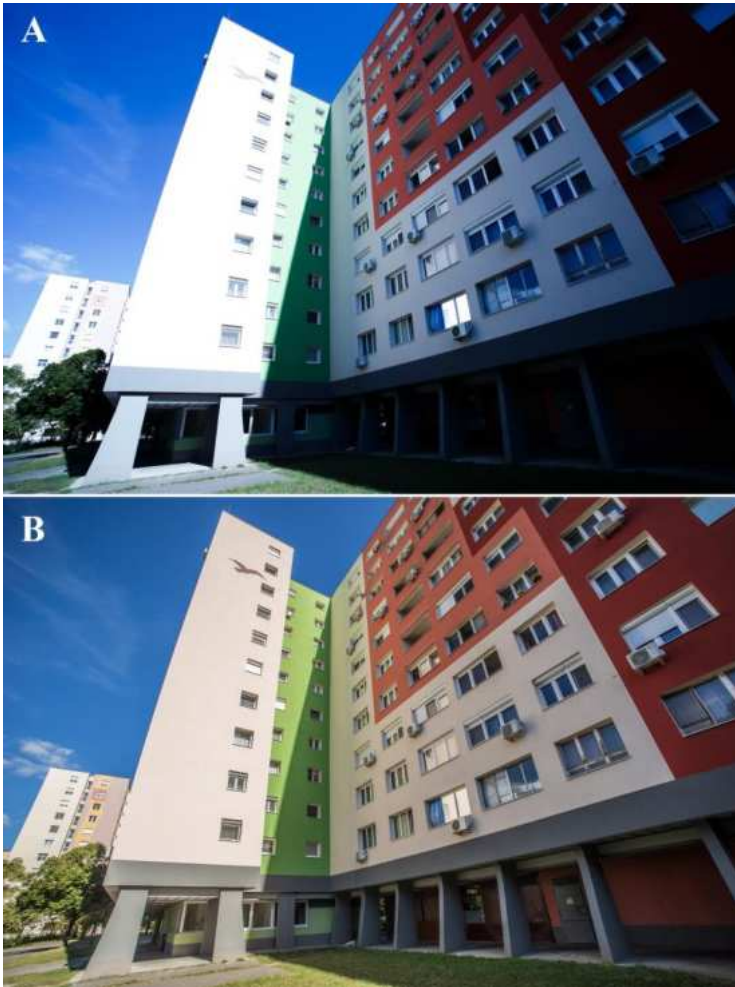
16. számú ábra

Különböző kamerákkal, illetve más-más látószögű objektívvel készített makrofelvételek. A jellemzően kisméretű és jó közelponttal rendelkező bridge kamerák (A, B) lehetőséget biztosítanak arra, hogy nagyon közelről készítsünk nagy mélységélességű fotókat apró objektumokról. Ehhez hasonló képeket nagyobb szenzorú digitális fényképezőgépekkel csak speciális nagylátószögű makroobjektívek segítségével készíthetünk (C, D). A telemakroobjektívek szűk mélységélességük és látószögük miatt sokkal kevésbé alkalmasak fotogrammetriai célokra (E, F). A – Canon PowerShot SX540 HS, 24 mm,  $f/4$ ; B – Canon PowerShot SX540 HS, 24 mm,  $f/8$ ; C – Canon EOS 6D, 15 mm,  $f/4$ ; D – Canon EOS 6D, 15 mm,  $f/32$ ; E – Canon EOS 6D, 100 mm,  $f/4$ ; F – Canon EOS 6D, 100 mm,  $f/32$  (a szerzők saját felvételei)

### *Képfarmátum*

Egy bűnügyi helyszínen különösen nagy dilemma, hogy milyen képfarmátumban készítsen képeket a bűnügyi technikus. A tömörített képfarmátum kisebb méretű felvételeket eredményez, amelyeket később nem szükséges utómunkával korrigálni. A tömörítetlen, nyers képfarmátum jóval nagyobb fájl méretű felvételeket készít, azonban a képek „előhívása”, vagyis végső formába öntése és tömörítése utómunkát igényel. Az utómunka gyakran hosszabb folyamat, mint a helyszíni képrögzítés. Előnye azonban mégis óriási, hiszen számos olyan korrekciót tesz lehetővé, amely minimális minőségromlás mellett jelentősen növeli a felvételek esztétikai értékét, s amely korrekciókra egy tömörített felvétel utómunkája esetén nincs lehetőség.

Bár a helyszíni felvételek tartalmának módosítását a jogszabályok nem teszik lehetővé, bizonyos esztétikai korrekciókat néha érdemes kivitelezni, a fotogrammetria pedig olyan terület, amely kifejezetten igényli a képsorozat felvételeinek megfelelő korrekcióját. Éppen ezért, a fotogrammetriai képrögzítésre kifejezetten a nyers, tömörítetlen (RAW) képfarmátumban történő képrögzítés ajánlott. A nyers képek expozíciója nagymértékben korrigálható, a részlettelen vagy ahhoz közeli tartományok szín- és fényességinformációi finomíthatók, amely által a fénydinamika-tartomány nagy mértékben növelhető. Tetszőlegesen változtatható a kép fehéregyensúlya, kontrasztja, színezete és telítettsége, hogy a valóságban látottakhoz minél közelebbi eredményt hozhassunk létre (17. számú ábra). A korrekciók elvégeztével számos olyan képrészlet válhat láthatóvá, amelyek által a fotogrammetriai szoftver képes lehet illeszteni olyan felvételeket is, amelyek alapján az előhívás és utómunka előtt nem volt képes háromdimenziós modellt alkotni.



17. számú ábra

Ugyanazon képkocka helytelen beállításokkal készített, .JPG formátumú képe, illetve a nyers képfájlból konvertált, javított kép. A – a helytelenül beállított fehéregyensúly a .JPG kép esetében kékes színeket eredményezett, valamint a túlzottan nagy fénydinamika miatt a kép egyes részletei túl világosak, más részei pedig túl sötétek; B – a nyers képfájl konverziója során színhelyessé vált a kép, valamint a világos képrészek sötétebbekké, a sötétek pedig világosabbá váltak, így megnőtt a kép részletgazdagsága, információtartalma (a szerzők saját felvételei)

### *Fényérzékenység*

A fényképezőgép szenzorának fényérzékenysége bizonyos határok között változtatható, az ISO érzékenységi szabványban meghatározott értékeket veheti fel. Minél nagyobb az alkalmazott ISO érték, annál nagyobb mértékben növelhetjük a szenzor fénybefogadó kapacitását. A legalacsonyabb ISO érték 50, a legmagasabb pedig lehet akár 512 000 is!

Alapvetően elmondható, hogy bármilyen fényképezési eljárás során törekedni kell a minél alacsonyabb fényérzékenység melletti fotózásra, amely kiváló minőségű, zajmentes képeket eredményez. Minél sötétebb a téma (különösen éjszaka), annál nehezebben oldható meg az ISO érték alacsonyan tartása. Am minél magasabb fényérzékenység mellett fotózunk, annál inkább növekszik a fényképeken látható képzaj. Rossz fényviszonyok és szűkebb rekeszérték használata mellett óhatatlan, hogy a helyes expozícióhoz alkalmazandó záridő egyre növekszik, egészen addig, amíg el nem éri azt a szintet, amely fölött már nagyon kevés eséllyel lehet állvány használata nélkül bemozdulástól mentes felvételeket készíteni. A záridőt lehet ugyan növelni, akár hosszú másodpercekre is, vannak azonban olyan szituációk, amikor nem lehet, vagy nem érdemes ezt tenni. Ha például mozgó témáról szeretnénk bemozdulástól mentes felvételt készíteni rossz fényviszonyok mellett, akkor nem növelhetjük a záridőt egy bizonyos érték fölé. Két lehetőségünk van: tágítjuk az objektív rekeszét, vagy növeljük a szenzor fényérzékenységét. Az ISO érzékenység, a záridő és a rekeszérték viszonyát a 4. számú táblázat és az 5. számú táblázat mutatja be.

<b>ISO érzékenység</b>	<b>Záridő (sec)</b>
100	1/60
200	1/125
400	1/250
800	1/500
1600	1/1000
3200	1/2000

4. számú táblázat

Az ISO érzékenység és a záridő kapcsolata fix rekeszérték és megvilágítás esetén. Az egyes sorok záridőértékei azt mutatják meg, hogy adott rekeszérték és megvilágítás mellett mekkora záridő szükséges ahhoz, hogy az adott ISO értéken helyesen exponált képet készítsünk

<b>ISO érzékenység</b>	<b>Rekeszérték</b>
100	f4
200	f5.6
400	f8
800	f11
1600	f16
3200	f22

5. számú táblázat

Az ISO érzékenység és az objektív rekesznyílásának kapcsolata fix záridő és megvilágítás esetén. Az egyes sorok rekeszértékei azt mutatják meg, hogy adott záridő és megvilágítás mellett mekkora rekeszérték szükséges ahhoz, hogy az adott ISO értéken helyesen exponált képet készítsünk

A fotogrammetriai képrögzítés eleve mozdulatlan témát követel meg, így elvileg nincs megkötés arra vonatkozóan, hogy milyen záridőt alkalmazunk. Mégis, egy bűnügyi helyszínen rendszerint nincs idő arra, hogy a fotogrammetriai képsorozat felvételeit állványról, akár néhány másodperces záridőkkel készítsük el. Az objektív szűk rekesznyílására a nagy mélységélesség miatt mindig szükségünk van, ezért egyetlen dolgot tehetünk: meg kell növelnünk a fényérzékenységet. Nagy pixelméretű és alacsony

pixelsűrűségű szenzorral rendelkező kamerák esetén akár 1600-3200 körüli ISO értékeknél is csupán minimális képzaj jelentkezik majd, ezek tehát bátran használhatók magas ISO értékek melletti, kézből történő fotózásra. A kis pixelméretű, nagy pixelsűrűségű, apró szenzorú fényképezőgépek zajszintje azonban magasabb ISO értékeken igen jelentős. Bár sok fényképezőgép rendelkezik beépített zajsűrítő algoritmussal, az általában nem csupán a képzajt, hanem a kép részleteinek egy jelentős részét is eltávolítja.

A fotogrammetriai rekonstrukció szempontjából a szoftveres rekonstrukció során a képzaj kevésbé zavaró, mint a bemozdult képek. Emiatt szükség esetén növelhetjük az ISO értéket, ha a fényviszonyok megkívánják, különösen nagy szenzorméretű kamerák esetében. Egy bűnügyi helyszínen sokkal inkább a fényérzékenységet célszerű növelni, mintsem az objektív rekeszértékét csökkenteni, vagy hosszú záridőt, és ennek megfelelően állványt alkalmazni a fotózáshoz! Amennyiben nem sürges az idő, például laboratóriumi körülmények között, nyomok, tárgyak fotózása során megfontolandó, hogy az ISO értéket mégis alacsonyan tartsuk a lehető legjobb képminőség érdekében. Ebben az esetben rendszerint jó megvilágítás, szűk rekeszérték, hosszú záridő és állvány használata válik szükségessé.

### *Rekeszérték*

A rekeszérték az objektívekben elhelyezkedő rekeszlamellák alkotta környílásának mértéke, ennek változtatása azt határozza meg, hogy mekkora résen keresztül jut be a fény az objektíven át a szenzorra (18. számú ábra). Minél kisebb a rekeszérték, tehát minél tágabb a rekesznyílás, annál kisebb a fénykép mélységelesség-tartománya. Minél inkább növeljük a rekeszértéket, így csökkentve a rekesznyílás átmérőjét, annál inkább növekszik a mélységelesség kiterjedése. A rekesznyílás értéke az objektívek többségénél  $f/2.8$  és  $f/22$  között változik, ám bizonyos kameráknál a legtágabb szélessőérték lehet  $f/1.8$ ,  $f/1.4$ , de akár 1 alatti érték ( $f/0.95$ ,  $f/0.75$ ) is. A legszűkebb rekeszbeállítás elérheti az  $f/32$  és  $f/64$  értékeket, míg néhány nagy nagyítású vagy speciális kialakítású optikánál ennél is szűkebb,  $f/96$ ,  $f/177$  értékeket vehet fel. A rekeszértéket jelző szám azt mutatja, hogy a blende



átmérője hányszor fér rá az adott objektív gyújtótávolságára. Az objektíven mindig a legtágabb rekeszértékeket tüntetik fel. A „Canon EF 400 mm 2.8L IS USM III” egy óriási fényerejű teleobjektív, 400 mm-es gyújtótávolságú, legtágabb rekesznyílása pedig  $f/2.8$ , amelynek átmérője 143 mm. A gyújtótávolság és rekeszérték mélységélességre vonatkozó együttes hatását a 6. táblázat mutatja be.



18. számú ábra

Nagy fényerejű AF Nikkor 50 mm  $f/1.4D$  objektív rekesznyílás értékeihez tartozó rekeszátmérők. A rekeszlamellák összehúzásának hatására a rekeszátmérő szűkül, így kevesebb fény jut át az objektíven a szenzor irányába. A szűkebb rekesznyílás használata egyrészt növeli a fotó mélységélességét, másrészt azonban hosszabb zárbességet igényel a helyes expozícióhoz<sup>46</sup>

<sup>46</sup> Forrás: [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Lenses\\_with\\_different\\_apertures.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Lenses_with_different_apertures.jpg)  
Letöltés ideje: 2021.04.19

<b>Gyűjtő-távolság</b>	<b>Rekesz-érték</b>	<b>Rekesz-átmérő</b>	<b>Tárgy-távolság</b>	<b>Mélységelesség kiterjedése</b>
18 mm	2.8	6,43 mm	1 m	0,55 m
18 mm	5.6	3,2 mm	1 m	1,4 m
18 mm	8	2,25 mm	1 m	3,09 m
18 mm	11	1,64 mm	1 m	végtelen
18 mm	22	0,82 mm	1 m	végtelen
24 mm	2.8	8,57 mm	1 m	0,29 m
24 mm	5.6	4,29 mm	1 m	0,63 m
24 mm	8	3 mm	1 m	0,97 m
24 mm	11	2,18 mm	1 m	1,72 m
24 mm	22	1,09 mm	1 m	végtelen
50 mm	2.8	17,86 mm	1 m	0,06 m
50 mm	5.6	8,93 mm	1 m	0,13 m
50 mm	8	6,25 mm	1 m	0,18 m
50 mm	11	4,55 mm	1 m	0,26 m
50 mm	22	2,27 mm	1 m	0,55 m

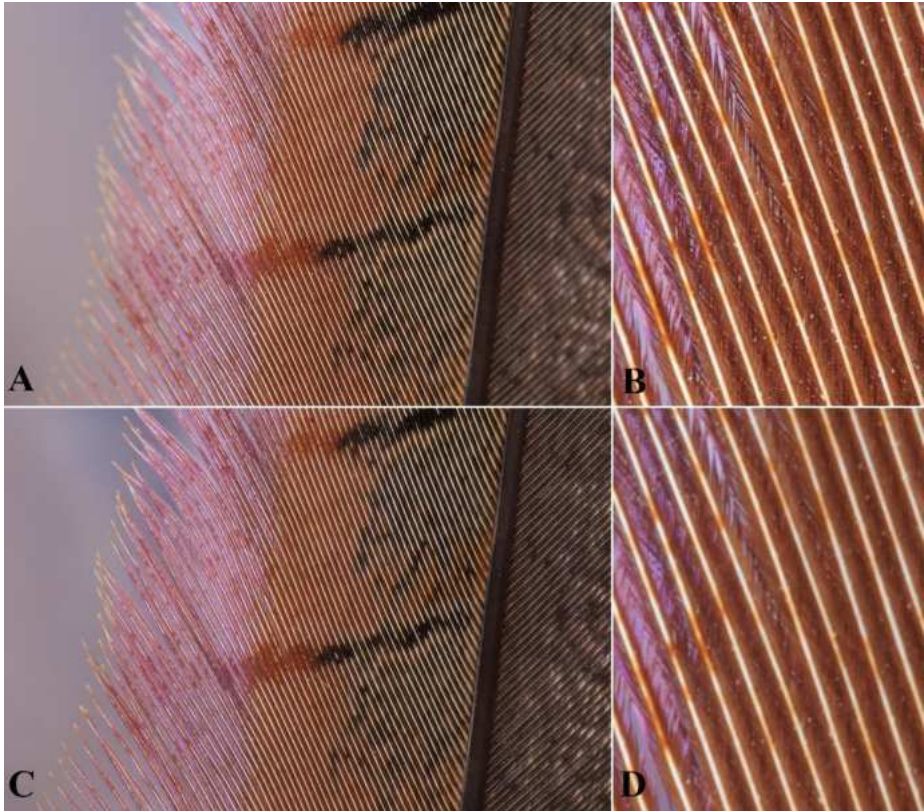
6. számú táblázat

Canon EOS 6D kamerával fotózott fényképek mélységelességének kiterjedése az alkalmazott gyűjtőtávolság és rekeszérték függvényében, adott tárgy-távolság mellett

A fotogrammetriai képrögzítés során fontos cél, hogy minél nagyobb mélységelességű képeket készítsünk, így azokból minél több távolságinformációt lehessen kinyerni, nagy pontossággal. A mélységelesség három faktortól függ: az objektív gyűjtőtávolságától, a tárgy-távolságtól, illetve az objektív rekesznyílásának értékétől. A tárgy-távolságot mindig a fotózott téma határozza meg, ahhoz kell igazodnunk, az objektívek közül pedig célszerű rövid gyűjtőtávolságú nagylátószögű optikát választani. E kettő függvényében pedig mindig kellően szűk rekeszérték mellett fotózzunk, úgy, hogy a mélységelesség kvázi végtelen, de lehetőleg minél nagyobb legyen.

Fontos azonban tudni, hogy az objektívek rekesznyílásának szélsőértékei jellemzően nem alkalmasak igazán jó minőségű képek elkészítésére.

Minden objektív esetén van egy úgynevezett optimális rekeszérték, amely a legjobb minőségű, legélesebb képet rajzolja mind a kép közepén, mind pedig a két sarkainál. A képközépen általában a legtágabb rekesznyílást két értékkel csökkentve kapjuk a legélesebb képet. A kép szélein négy rekeszértékkel történő csökkenésig javul a rajzolat. Azonban tovább szűkítve a rekeszt, egyre erősödik a diffrakció, vagyis a fényelhajlás, ami egyre élelenebb, részletlenebb képeket fog eredményezni (19. számú ábra). Tehát, bár a rekeszeléssel a mélységélesség jelentősen megnövelhető, a szűkebb rekeszértékeken sosem lesz olyan éles a rajzolt kép, mint a tágabb értékeken. Éppen ezért a legszűkebb rekeszértékek használata kerülendő, olyan köztes rekeszértéket érdemes választani, amely megfelelően tág mélységélességet és szép, éles rajzolatot eredményez.



19. számú ábra

Egy madártoll közepesen szűk és szélsőségesen szűk rekesznyílással fotózott részlete. Bár a szűkebb rekesznyílással fotózott felvétel mélységélessége nagyobb (vagyis a tollrészlet minden eleme az éles síkba esik), a szűk rekesznyílás okozta diffrakció eredményeképp azonban a kép élessége jelentősen lágyul. A – eredeti felvétel,  $f/8$ ; B – az előző felvétel részlete,  $f/8$ ; C – eredeti felvétel,  $f/32$ ; D – az előző felvétel részlete,  $f/32$  (a szerzők saját felvételei)

## Záridő

A záridő vagy zársebesség az az időtartam, amely alatt a fényképezőgép zárszerkezete fényt ereszt át az objektív felől a szenzorra. A fotogrammetriai képrögzítéshez használatos zársebesség kulcsfaktor, különös tekintettel a bűnügyi helyszínekre. Egy helyszínen ugyanis nincs idő a hosszú expozíciós idejű képrögzítésre, és gyakran az állvány használatának lehetősége is korlátozott, hiszen a hagyományos tripod állványokkal a statikus szakaszban történő körbejárás számos nyomot veszélyeztethet. Bár a gyenge beltéri megvilágítás és a nagy mélységélesség érdekében használandó szűk rekeszérték alapvetően hosszú záridőt és állvány használatát kívánhatja, mégis, helyszíneken alapvetően a kézből történő képrögzítés javasolt.

A kézből történő képrögzítés rövid záridőt kíván, még akkor is, ha a főtáshoz vakut használunk. A kézből történő fotózás gyors és egyszerű, ami alapvető helyszíni igény. A rövid záridőre pedig azért van szükség, hogy elkerülhessük a kamera mozgásából fakadó bemozdulást. A bemozdult felvételek sokszor kevésbé alkalmasak fotogrammetriai modellek elkészítésére, szélsőséges esetekben akár alkalmatlanok. Igyekezni kell tehát úgy fotózni, hogy minden egyes felvétel bemozdulástól mentes és éles legyen.

Azt, hogy mekkora záridőre van szükségünk ahhoz, hogy fotózáskor kézből biztonsággal kitarthassuk a fényképezőgépet, elsődlegesen az objektív gyújtótávolsága határozza meg. A reciprokszabály értelmében az objektív gyújtótávolságának reciprokértéke elegendően rövid záridő ahhoz, hogy az azzal készített felvételek jelentős része éles legyen, állvány vagy vaku használata nélkül is. Minél nagyobb egy objektív gyújtótávolsága, annál rövidebb záridő használatára van szükség a bemozdulástól mentes felvételek elkészítéséhez. Mivel a fotogrammetriai képrögzítés alapvetően rövid gyújtótávolságú nagylátószögű objektívet igényel, a kézből kitartható záridő is rövidebb lesz, mint normál és teleobjektívek esetében. Fontos, hogy a reciprokszabályt mindig az adott fényképezőgépen mért ekvivalens

gyűjtótávolságra alkalmazzuk, hiszen az objektíven szereplő gyűjtótávolság-érték a fényképezőgép szenzorméretének függvényében változik! A reciprokszabály azonban nem törvényszerűség, csupán irányadó. Érdekes az általa kalkulált értékeknél rövidebb záridőt alkalmazni annak érdekében, hogy a felvételeinken biztosan ne tapasztaljunk bemozdulásból fakadó életlenséget. A 7. számú táblázat különböző fényképezőgépeken alkalmazott optikák ekvivalens gyűjtótávolságait, illetve a reciprokszabály szerint azokhoz tartozó leghosszabb, kézből kitartható záridőket foglalja össze.

Kamera-modell	Kamera-típus	Szenzor-típus	Crop faktor	24 mm-es objektív ekvivalens gyújtótávolsága (mm)	Kézből kitartható leghosszabb záridő hozzátétőleges értéke (sec)
Canon EOS 6D	DSLR	fullframe	1	24	1/25
Nikon D850	DSLR	fullframe	1	24	1/25
Canon EOS-1D Mark IV	DSLR	APS-H	1,29	30,96	1/30
Nikon D3500	DSLR	APS-C	1,5	36	1/50
Pentax K-70	DSLR	APS-C	1,5	36	1/50
Sony Alpha 6000	MILC	APS-C	1,5	36	1/50
Fujifilm X-T200	MILC	APS-C	1,5	36	1/50
Canon EOS 850D	DSLR	APS-C	1,6	38,4	1/50
Sigma SD15	DSLR	Foveon	1,73	41,52	1/50
Olympus OM-D E-M10	MILC	4/3	2	48	1/50
Panasonic Lumix DC-GH5S	MILC	4/3	2	48	1/50
Nikon 1 J4	MILC	CX	2,7	64,8	1/80

7. számú táblázat

24 mm jelzésű nagylátószögű objektív ekvivalens gyújtótávolság-értékei, illetve a hozzájuk tartozó leghosszabb, kézből kitartható záridő, különböző szenzorméretű fényképezőgépvázakon

Annak érdekében, hogy adott, szűk rekeszértékre állított objektívvel viszonylag rövid záridővel tudjunk fényképezni, két dolgot tehetünk. Egyrészt növelhetjük a szenzor fényérzékenységét, másrészt használhatunk vaktut. A fényérzékenység növelése ugyan növekvő képzajt és részletlenebb

felvételeket eredményez, mégis javasolt ezt tenni a fotogrammetriai képrögzítés során. Mivel egy fotogrammetriai képsorozat gyakorta számos, akár többszáz felvételből tevődik össze, a vaku használata jelentősen igénybe veszi az akkumulátorokat, illetve a gyors egymás utáni villanások eredményeképp a vaku egyre lassabban töltődik majd újra. A vakuzás tehát jelentősen lassítja a képrögzítés folyamatát, és fokozottan terheli a fényképezőgépet.

Az objektívbe vagy a szenzorba integrált képstabilizátor a reciprokszabály alapján kalkulált, bemozdulás nélkül kitartható záridőértéket néhány értékkel javítja. Fontos azonban megjegyezni, hogy a képstabilizátor használata csökkenti a fotogrammetriai modellek illeszthetőségének sikerét, így ezt a funkciót lehetőség szerint jótékony hatása ellenére is érdemes kikapcsolni.

### *Állvány*

Az igazán jó minőségű, vaku nélkül és alacsony fényérzékenység mellett fotózott, nagy mélységélességű felvételek elkészítése gyakran rendkívül hosszú, akár több másodperces expozíciót is igényel. Ahhoz, hogy a hosszú expozíciós idő mellett is bemozdulástól mentes felvételeket készíthessünk, állványt kell használnunk. Állvány használata leginkább akkor javasolt, ha hosszú idő áll rendelkezésünkre egy-egy igényes munka elkészítéséhez.

Állvány használata elsősorban a kisebb méretű tárgyak kontrollált körülmények közötti (nem helyszíni) fotózásához a legpraktikusabb. Célszerű a tárgyakat homogén színű, forgatható tárgyasztalra helyezni, az állványt és a kamerát pedig fix pozícióba állítani. Ily módon a tárgyasztal forgatásával válik körbefotózhatóvá az objektum, az állványt nem szükséges mozgatni.

Egy helyszíni szemle statikus szakaszában kifejezetten kerülendő az állvány használata. Egyrészt körülményessé és hosszúvá teszi a képrögzítés folyamatát, másrészt a helyszín bejárása és az állvány mozgatása óhatatlanul is megváltoztathatja a helyszín eredeti állapotát, kontaminálhatja a



helyszínt, vagy megsemmisíthet bizonyos látens nyomokat (például lábbe-linyomokat).

### *Vaku és egyéb fényforrások*

A természetes és mesterséges fényeket kiegészítő, fotózáshoz használt fényforrások (vakuk, lámpák) bizonyos szempontból jótékony hatással bírnak a fotogrammetriai képrögzítésre, mivel általuk az árnyékos, sötét területek is megvilágíthatóvá válnak, részleteik, textúrájuk pedig dokumentálható válik. A vakuk fénye azonban derítés hiányában meglehetősen erős, nem kellően szórt megvilágítást és éles árnyékokat eredményez. Ha ezek az éles, sötét árnyékok a különböző nézőpontokból készített fotókon más-ként, más-más alakban jelennek meg, az befolyásolhatja az átfedő képek illeszthetőségét, ezáltal a fotogrammetriai modell elkészítésének sikerét.

A vakuk, attól függően, hogy a fényképezőgép vázába beépítettek, avagy kívülről a fényképezőgépre csatlakoztathatók, más-más áramforrások segítségével működnek. A beépített vakuk a fényképezőgép akkumulátorának energiáját használják. A külső vakuk rendszerint önálló áramforrással rendelkeznek, ami lehet belső akkumulátor, külső akkumulátor, sőt, hálózati feszültséget átalakító adapter is. Az akkumulátorok csak korlátozott mennyiségű energia tárolására alkalmasak, a legtöbb vaku saját akkumulátoraival – a villanás erősségétől függően – csupán néhány száz villanásra képes. Az akkumulátort használó vakuk hamar túlhevülnek, így a gyors egymást követő villanások eredményeképp egyre lassabban – gyakran hosszú másodpercek alatt – töltődnek újra. Fotogrammetriai célra az olyan külső vakuk használata tűnik a legmegfelelőbbnek, amelyek közvetlenül az elektromos hálózatról működtethetők. Használatuk így is körülményes, hiszen hosszabbító jelenlétét igénylik, ráadásul a képrögzítés során történő bejárásakor ezt folyamatosan mozgatni kell úgy, hogy a kábel ne változtasson a helyszín állapotán, ne semmisítsen meg semmilyen látható vagy látens nyomot, ne kontaminálja a helyszínt, és ne szerepeljen a fényképfelvételeken.

A nagy fényerejű, ideális esetben szórt fényt biztosító állólámpák használata sötét belső terek fotogrammetriai képrögzítése során megfontolandó, azonban ügyelni kell arra, hogy a fényképeket készítő személy lehetőleg ne vessen árnyékot a felvételeken.

### *Fényképezési és egyéb hibák, valamint ezek kiküszöbölése*

- 1) Helytelen fókuszálásból eredő életlenség – Egyrészt helytelen kézi élességállítás, másrészt az automatikus élességállítást korlátozó tényezők esetén szokott előfordulni. Az életlen, illetve a nem megfelelő helyen éles felvételek csökkentik az átfedő fényképek illesztettségének, ezáltal a háromdimenziós modell megalkotásának sikerét. A kézi élességállítással történő fényképezés nem javasolt, körülményes, nagy körültekintést követel. Az automatikus élességállítás nem minden környezetben és fényviszonyok között működik megfelelően, attól függően, milyen technológiát használ erre a célra az adott objektív vagy fényképezőgép-típus. A homogén, kontrasztalan felületeken történő élességállítás sok fényképezőgép számára okoz problémát, hiszen ezek autófókuszának működése általában a szín-, illetve fény-árnyék kontrasztokon alapul. Ugyanez tapasztalható ellenfényben, nagyon világos (ám nem homogén) térrészek, illetve sötét, szintén kontrasztalan térrészek fotózása esetén. A homogén felületek fotózásában segít, ha az adott fotózási pozícióból kissé elfordulva, az adott homogén felszínnel azonos fókusz síkban elhelyezkedő inhomogén, kontrasztos területre állítunk fókuszot, majd visszafordulva ezzel a beállított fókuszértékkel fényképezzük le az eredetileg fotózandó látóteret. Teljes sötétségben a fényképezőgép autófókusz segédfénye, vagy egyéb segédfény (például lámpa) lehet segítségünkre az automatikus élességállítás során. Ezek hiányában kénytelenek vagyunk manuálisan fókuszálni.
- 2) Bemozdulásból fakadó életlenség – Az objektív gyújtótávolságához képest alkalmazott túlságosan hosszú záridő következtében jön

létre. A bemozdult felvételek csökkentik az átfedő fényképek illeszthetőségének, ezáltal a háromdimenziós modell megalkotásának sikerét, de sikeres illesztés esetén is mesterséges hatásokat hoznak létre a 3D modell felületén. Ennek elkerülése érdekében exponálás közben mozdulatlanul kell tartani a fényképezőgépet. Amennyiben az expozíciós idő hosszú, az apró kézremegések, sőt, akár a szívverés okozta rezgés is okozhat bemozdulásból fakadó életlenséget. Ennek kiküszöbölésére a zársebesség és a szenzor ISO érzékenységének egyidejű növelése ajánlott (az objektív rekesztét tartjuk mindig szűk értéken). Bár az optikai képstabilizátorok, az állvány és vaku használata is csökkenti a bemozdulás esélyét, ezek használata a fentebb leírtak szerint körülményes, nem mindig célravezető, és gyakran nem is ajánlott. Ez különösen igaz a képstabilizátor esetén, mivel ennek használata az egyes képek közt olyan apró variációkat okozhat a képkészítés paramétereiben, amelyek megnehezítik a képalkotó szoftverrel történő képfeldolgozást.

- 3) Életlen képszélek – Gyenge minőségű objektívek, illetve a túlzottan tág rekesznyílás használatának eredményeképp jelentkezhethet. Az életlen képrészek, szegélyek csökkentik az átfedő fényképek illeszthetőségének, ezáltal a háromdimenziós modell megalkotásának sikerét. Egyrészt érdemes jó minőségű nagylátószögű objektíveket igénybe venni, amelyek használata mellett nem jelentkezik a képszegélyi életlenedés. Másrészt használjunk szűk, az objektíven jelzett minimális rekeszértéknél legalább 4 értékkel nagyobb rekesznyílást.
- 4) Diffrakció okozta életlenedés – Túlzottan szűk rekesznyílás esetén jelentkező probléma, eredményeképp a fotó teljes felületén érezhetően lágyul az élesség, csökken a fénykép részletgazdagsága. A szűk rekesznyílás okozta mélységélesség-növekedés valamelyest kompenzálja az enyhe életlenedést, így a jelenség nincs jelentős hatással a fényképek illeszthetőségére. Az életlenedés elsősorban a modell pontosságát, illetve a textúra minőségét ronthatja.

- 5) Szűk mélységelesség – A túlzottan tág rekesznyílás, a nagy gyújtótávolság, illetve a kis tárgytávolság okozta probléma. A szűk mélységelesség-tartomány az átfedő fényképek illeszthetőségére és a modellalkotásra van hatással. Nagyobb objektumok nagylátószögű objektívvel történő rögzítése során ritkán jelentkezik, megoldásához ilyen esetekben elegendő az objektív rekeszének szűkítése egy optimális értékre. Leggyakrabban kis méretű objektumok rövid tárgytávolsággal, makroobjektívvel történő fényképezése során jelentkezik. A legtöbb makroobjektív gyújtótávolsága ugyanis 50 mm feletti érték, s mivel a tárgytávolság kicsi, a mélységelesség rendkívül szűk, még szűk rekeszérték használata mellett is. Makrofotózásra érdemes minél kisebb gyújtótávolságú makroobjektívet használni optimálisan nagy rekeszérték és szűk rekesznyílás mellett. További megoldás a tárgytávolság növelése, tehát az objektum kissé távolabbról történő fotózása.
- 6) Kiégett képrészletek – Túlexponált felvételek esetén jelentkező probléma, eredményeképp bizonyos képelemek részlettelenül fehérre válnak, nem hordoznak információt. Egyrészt a helytelenül megválasztott, túl hosszú expozíciós idő okozhatja, ebben az esetben a teljes kép túl világos, néhány eleme pedig részlettelenül fehér. Ha helyesen exponált felvételek mellett is megjelennek kiégett képrészek, az azt jelenti, hogy a fotózandó térrész fénydinamikája túlságosan nagy, a fényképezőgép pedig nem tudja annak minden elemét helyesen és megfelelően rögzíteni. A kiégett képrészletek csökkentik az átfedő fényképek illeszthetőségének, ezáltal a háromdimenziós modell megalkotásának sikerét, illetve a kiégett részeken a háromdimenziós modell textúrája nem hordoz majd információt. A kis érzékelőjű, kis pixelméretű, nagy pixelsűrűségű szenzorokkal bíró kamerák (elsősorban kompakt és bridge fényképezőgépek) tipikus hibája, hogy sokkal kisebb fénydinamikai átfogásra képesek. A kiégest kompenzálhatja a HDR (nagy fénydinamika) funkció, amennyiben fényképezőgépünk rendelkezik ilyennel. Mi magunk is

visszanyerhetünk információt a kiégett képrészekből, amennyiben nyers (RAW) formátumban fényképezünk, és a fénykép előhívása/feldolgozása során javítunk a csúcspontok világosságán (20. számú ábra).

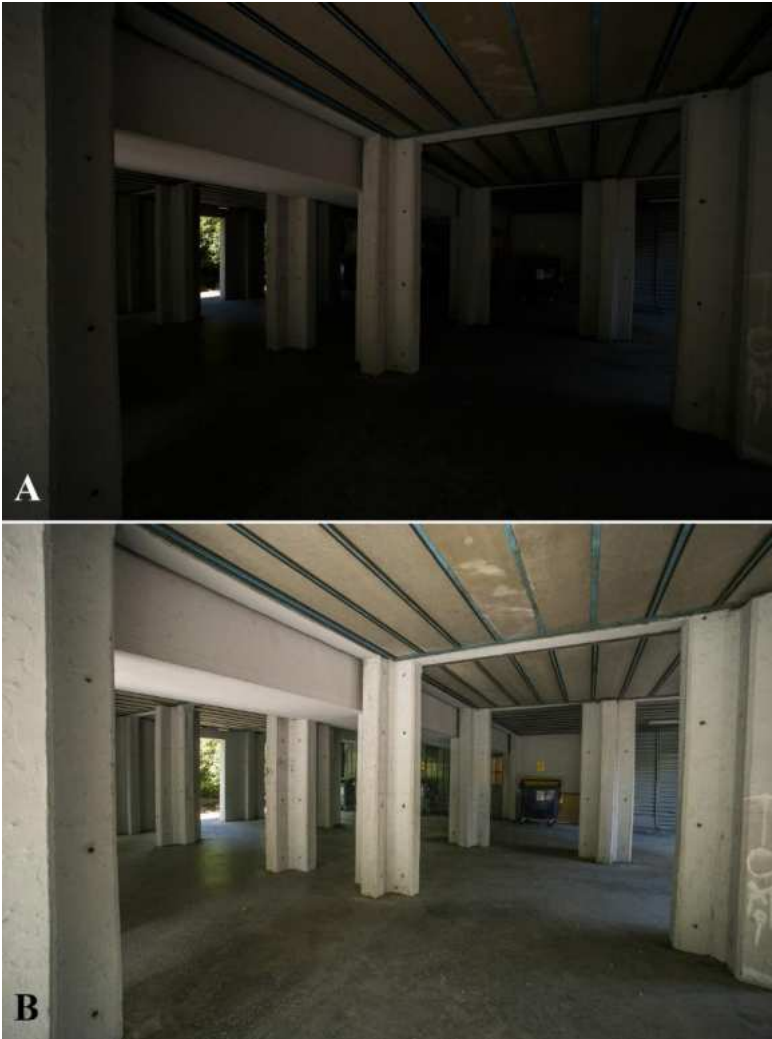


20. számú ábra

A – túl hosszúra választott záridő miatt kiégett, túl világos, részletlenül fehér elemeket tartalmazó .JPG formátumú képkocka; B – a nyers képfájl konverziójával, az expozíció és csúcspontok korrekciójával a világos képrészekben újra előtűntek a részletek, a felvétel sokkal információgazdagabbá vált (a szerzők saját felvételei)

- 7) **Bebukott képrészletek – Alulexponált felvételek esetén jelentkező probléma, eredményeképp bizonyos képelemek részlettelenül feketékké válnak, nem hordoznak információt.** Egyrészt a helytelenül megválasztott, túl rövid expozíciós idő okozhatja, ebben az esetben a teljes kép túl sötét, néhány eleme pedig részlettelenül fekete. Ha helyesen exponált felvételek mellett is megjelennek bebukott képrészek, az azt jelenti, hogy a fotózandó térrész fénydinamikája túlságosan nagy, a fényképezőgép pedig nem tudja annak minden elemét helyesen és megfelelően rögzíteni. A bebukott képrészletek csökkentik az átfedő fényképek illeszthetőségének, ezáltal a háromdimenziós modell megalkotásának sikerét, illetve a bebukott részen a háromdimenziós modell textúrája nem hordoz majd információt. A kis érzékelőjű, kis pixelméretű, nagy pixelsűrűségű szenzorokkal bíró kamerák (elsősorban kompakt és bridge fényképezőgépek) tipikus hibája, hogy sokkal kisebb fénydinamikai átfogásra képesek. A bebukást kompenzálhatja a HDR (nagy fénydinamika) funkció, amennyiben fényképezőgépünk rendelkezik ilyennel. Mi magunk is visszanyerhetünk információt a bebukott képrészekből, amennyiben nyers (RAW) formátumban fényképezünk, és a fénykép előhívása/feldolgozása során javítunk a sötét és fekete képrészek világosságán (21. számú ábra).
- 8) **Alacsony mértékű átfedés – Amennyiben arra törekszünk, hogy minél kevesebb fényképből álló fotósorozatot készítsünk, az egy-egy felvétel közötti túl nagy elmozdulások eredményeképp az egyes felvételek átfedése kicsi lesz. Minél kisebb a szomszédos felvételek átfedése, annál nehezebb azok egymásra illesztése, illetve a háromdimenziós modell megalkotása. Ha bizonyos felvételek szoftveresen nem illeszthetők a képsorozatba, a háromdimenziós modell hiányos lehet. Törekedni kell az arany középút megtalálására úgy, hogy kezelhető mennyiségű, azonban egymással viszonylag nagy átfedésű felvételeket készítsünk.**

- 9) Homogén átfedő képrészek – Amennyiben olyan objektumokat fényképezünk, amelyek felszíne nagy felületen homogén (egyszínű, kontrasztatlan, például fehér fal), és nem komponálunk a felvételekre olyan képelemeket, amelyek által a szoftver képes lehet e képeket illeszteni, úgy kockáztatjuk az illesztés és a modellalkotás sikerét (22. számú ábra). A legegyszerűbben ez úgy korrigálható, ha hátrébb lépünk, nagyobb távolságból fényképezzük a homogén objektumot, oly módon, hogy más, kontrasztos képelemek is kerüljenek a felvételre, amelyek segítik majd a fotók illesztését. Ha a felület túlságosan nagy, illetve a tér túlságosan kicsi (nem tudunk távolabbról fotózni), egyéb trükkökhöz kell folyamodnunk, és magunknak kell olyan kontrollpontokat képezni a felületen, amelyek segítik majd a szomszédos fényképek illesztését. A kontrollpontok lehetnek akár öntapadó matricák, amelyek a felületre ragaszthatók (ezek azonban roncsolhatják, megsemmisíthetik az ott található nyomatokat és anyagmaradványokat), ám lehetnek akár különböző, fix pontból, lézerefénnyel vetített mintázatok is (ezek alkalmazása kevésbé destruktív). A részlettelen, egyszínű felületek kriminalisztikai jelentősége azonban általában csekély, ezért a fotogrammetriai rekonstrukció során általában csak esztétikai hibát jelentenek.



21. számú ábra

A – túl rövidre választott záridő miatt bebukott, túl sötét, részlettelenül fekete elemeket tartalmazó .JPG formátumú képkocka; B – a nyers képfájl konverziójával, az expozíció és árnyékok korrekciójával a sötét képrészeken újra előtűntek a részletek, a felvétel sokkal információgazdagabbá vált (a szerzők saját felvételei)





22. számú ábra

A homogén, fehér falfelület egyes részeire (a modellrészlet felső felén) a felvételek nehéz illeszthetősége, valamint kevés információtartalma miatt került textúra (a szerzők saját felvétele, RealityCapture)

## **A fotogrammetriai képalkotás és a környezet viszonya** ***Megvilágítás***

### *Természetes megvilágítás*

A megvilágítás minden fotográfián alapuló képalkotó technika sarkalatos pontja. Más-más kihívásokkal kell megküzdeni felhős időben, szórt fény esetén, verőfényes napsütésben, alkonyatkor és pirkadatkor, valamint éjszaka.

Fotogrammetriai szempontból a legideálisabb kültéri körülmények felhős idő esetén, szórt fényben mutatkoznak. A fényképezés során a gyenge fények miatt értelemszerűen hosszabb záridő vagy magasabb fényérzékenység alkalmazandó, mint napsütéskor, ám a kontrasztatlan, diffúz árnyékok, valamint az alacsonyabb fénydinamika sokkal jobb minőségű fényképeket eredményez majd. Mivel szórt fények esetén a fényképezendő terület fénydinamikája könnyedén átfogható, ilyenkor kevés kiegészítő vagy

bebukott képrészlet jelentkezik majd. Az objektumok árnyékai egészen finomak, nem sötétek és kontrasztosak. Mindezen hatások ideálisak a fényképfelvételek illesztéséhez.

Változóan felhős-napos időben a legnagyobb problémát a fénydinamika és az árnyékok minőségének folyamatos változása jelenti. Ha fényképezés közben felhő takarja el a napot, akkor az árnyékok megváltoznak, diffúzzá, kontraszttalanná válnak. Szerencsére azonban ez nincs különösebb hatással az illesztésre, legalábbis addig, amíg folyamatosan helyesen exponált képeket készítünk. Ha fényképezési beállításainkat nem változtatjuk a megváltozott körülményeknek megfelelően, az túlexponált vagy alulexponált képek készítéséhez vezethet, amelyek illesztése a kiégett és bebukott képrészletek miatt problémába ütközhet. A nyers (RAW) formátumban történő fényképezés megoldást jelenthet a fénydinamika folyamatos változására, ugyanis a nyers képfájlok túl sötét és túl világos részeiből még jelentős mennyiségű színinformáció nyerhető vissza, kvázi nagy fénydinamikájú (HDR) képeket készíthetünk belőlük (23. számú ábra).



23. számú ábra

Váltakozóan felhős és napos, azaz váltakozó szórt és direkt megvilágítás mellett készített fényképsorozat elemei. A – napsütésben készült .JPG formátumú képkocka, kontrasztos árnyékokkal és erős csúcsfényekkel; B – az előző felvétel nyers képfájlból történt konverzió által információgazdagabbá tett változata; C – felhős időben készült .JPG formátumú képkocka, diffúz árnyékokkal és finom csúcsfényekkel; D – az előző felvétel nyers képfájlból történt konverzió által információgazdagabbá tett változata  
(a szerzők saját felvételei)

Napsütéses időben az erős kontrasztok és nagy fénydinamika jelenthet problémát. Fokozottan ügyelni kell tehát a helyes exponálásra, és lehetőleg törekedni kell arra, hogy minél nagyobb fénydinamika jelenjen meg a képen. A fénydinamika növelésére megoldást kínál a nyers formátumban történő fotózás, és az előhívás során történő színinformáció-visszanyerés. Óhatatlan azonban, hogy bizonyos szituációkban nappal szemben kell fényképeket készíteni. Így mindig törekedjünk arra, hogy a fotózott tér releváns objektumai legyenek helyesen exponáltak és kellően világosak, nem probléma, ha az égbolt részlettelenül fehérré válik. Figyelni kell arra is,

hogyan a természetes vagy mesterséges fényforrásokkal szemben történő fényképezés során a felvételeken a kamerák lencserendszerén keresztüljutó szórt fény nem kívánt képhatásokat, becsillanásokat (lens flare) okozhat (24. számú ábra). Ezek a becsillanások a fotogrammetriai szoftverek számára nehezen értelmezhető képelemek, éppen ezért gátolják a fényképek illesztését. A becsillanások elkerülése érdekében érdemes az objektíven napellenzőt használni.



24. számú ábra

Az éjszakai felvétel bal felső részén az utcai lámpa fényének hatására megjelenő, a fotogrammetriai modellalkotás szempontjából nemkívánatos „lens flare”  
(a szerzők saját felvétele)

Észben kell tartani, hogy a természetes megvilágítás percről percre változik, az árnyékok napkelte után egyre rövidülnek, majd délután lassan nyúlni kezdenek, orientációjuk pedig a nap járásához igazodik. Amennyiben egy területen rövid idő alatt sikerül elkészíteni egy fotogrammetriai képsorozatot, ez nem jelentkezik problémaként, ha azonban a képrögzítés

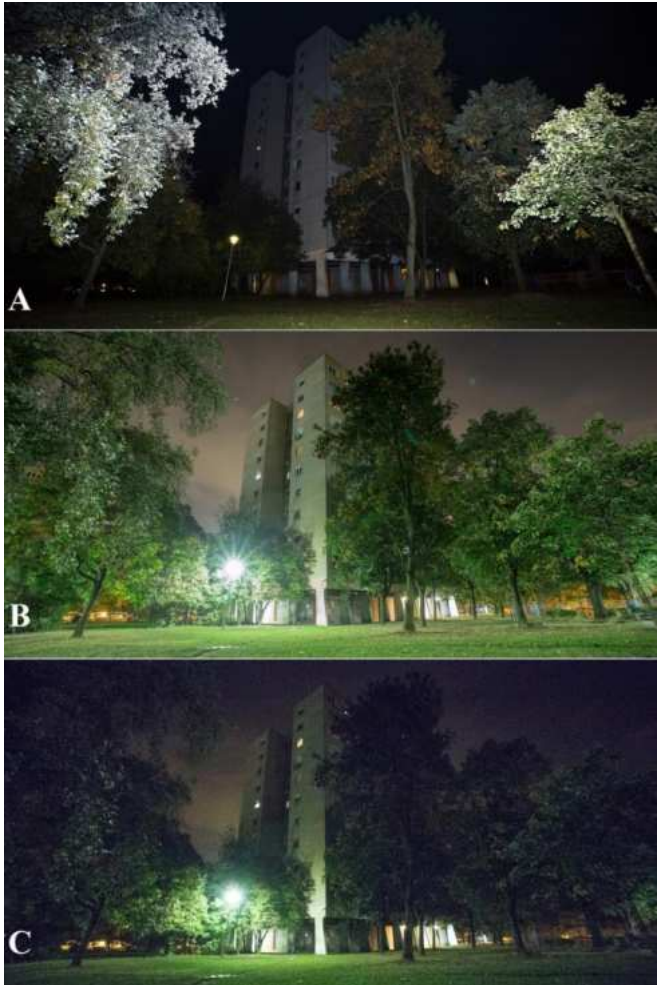
hosszú órákon át tart, az furcsa árnyékanomáliákat eredményezhet a háromdimenziós tér textúráján (az egyes fotogrammetriai képpalkotó szoftverek azonban képesek a megvilágítás különbségeit átlagolni, ezzel csökkenteni az árnyékok hatását).

Mindig érdemes átgondolni, vajon mennyi időt vehet igénybe a képrögzítési folyamat. Egy nagyobb terület rögzítését sötétedés előtt néhány perccel nem érdemes megkezdeni, hiszen a naplementét követő „kék óra<sup>47</sup>” után olyannyira kevés fény áll majd rendelkezésünkre, amely mellett szinte lehetetlen jó minőségű háromdimenziós modellt készíteni.

Éjszakai képrögzítés során egyrészt a holdfényre, másrészt lámpákra és egyéb segédfényekre (például vakura) támaszkodhatunk. Mivel a holdfény önmagában nagyon csekély megvilágítást biztosít (holdfázistól és felhőzetől függően, de még derült égbolt és telihold idején is), egyéb fényforrás hiányában kizárólag hosszú záridő és magas fényérzékenység mellett nyílik lehetőség fotódokumentációra. Reflektorok, lámpák és vaku alkalmazása némiképp segít a természetes megvilágítás éjszakai korlátainak áthidalásában, ám fényképezés során csupán azok a térrészek lesznek majd kellően világosak, amelyek beleesnek a mesterséges megvilágítás fénycsóvájába. Az egyenletlen, folyamatosan változó éjszakai megvilágítás jelentősen csökkenti a fényképek illeszthetőségének esélyét. Nagy kiterjedésű, nyílt területek UAV-kről történő éjszakai dokumentációja nem kivitelezhető. A külterületen történő éjszakai fotogrammetriai képrögzítés rendkívül körülményes és nehezen kivitelezhető, ezért mindenképp érdemes megfontolni a nappali körülmények kivárását (25. számú ábra és 26. számú ábra).

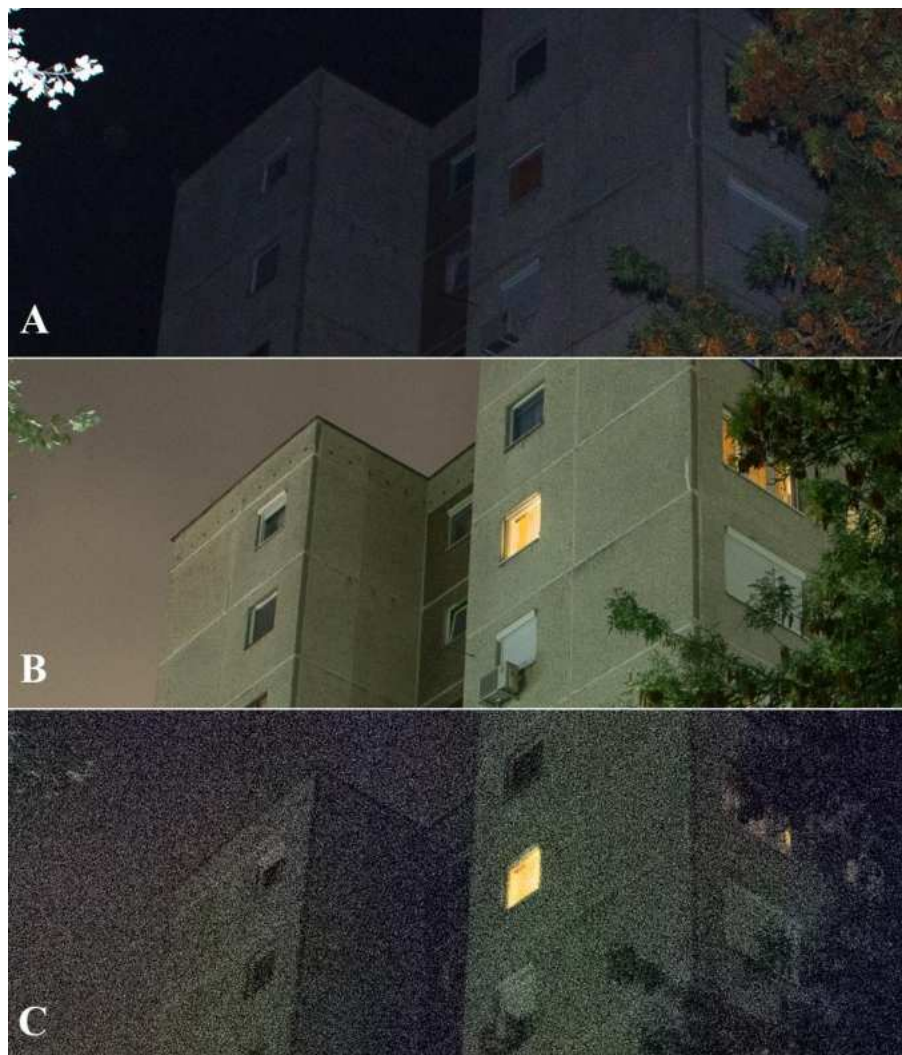
---

<sup>47</sup> Kék órának azt az időszakot nevezzük, amikor a Nap a horizont alatt helyezkedik el, és nem közvetlenül a földet, hanem az atmoszféra egy bizonyos részét világítja meg. Naplemente után 15–20 perccel kezdődik és 20f30 percig tart.



25. számú ábra

15 mm-es nagylátószögű objektívvel, ugyanazon pozícióból készített éjszakai felvételek. A – közepesen magas fényérzékenységgel (ISO1000), a bemozdulás elkerüléséhez kellően rövid záridővel (1/20s), vakuval fotózott felvétel; B – közepesen magas fényérzékenységgel (ISO1000), állványról, hosszú záridővel (20s), vaku nélkül fotózott felvétel; C – extrém magas fényérzékenységgel (ISO25600), a bemozdulás elkerüléséhez kellően rövid záridővel (1/20s), vaku nélkül fotózott felvétel  
(a szerzők saját felvételei)



26. számú ábra

A 25. ábra képrészletei. A – ISO1000, 1/20s, vaku, a kép alulexponált, a vaku fénye leginkább az előteret derítette be; B – ISO1000, 20s, a hosszú záridő jó minőségű felvételt eredményezett, ám állvány használatára volt szükség; C – ISO25600, 1/20, bár a kép elkészültéhez nem volt szükség vakura és állványra, az eredmény alulexponált és rendkívül zajos, részlettelen (a szerzők saját felvételei)

### *Mesterséges megvilágítás*

Legyen szó akár kültéri, akár beltéri helyszínről, a mesterséges megvilágítás a napfényhez (vagy holdfényhez) képest egyfajta állandóságot kölcsönöz a térnek.

Kültéri fotózás esetén a mesterséges fényforrásoknak elsődlegesen az éjszakai felvételek elkészítésekor van jelentősége. Egy lámpákkal gazdagon bevilágított utcarészlet fotogrammetriai képrögzítése jóval egyszerűbben kivitelezhető, mintha csupán a Hold és a csillagok, illetve lámpáink, vakuink és reflektoraink fényére támaszkodnánk. Nappali fényviszonyok mellett is szükségünk lehet olykor mesterséges megvilágításra, ha igényes és részletgazdag fotogrammetriai modellt szeretnénk készíteni. Bizonyos térrészek a tér többi pontjához képest jóval sötétebbek. Ilyenek például a pincék, aknák, gödrök, kutak, üregek, ezeket pedig célszerű a fotósorozat elkészítése során külső fényforrás felhasználásával megfelelően bevilágítani.

Lakások és különböző beltérek fotózása esetén mindenképp érdemes a belső mesterséges világítás fényeivel operálni. Sokszor ugyan a nyílászárókon keresztül beszűrődik némi fény, ám ez gyakran korántsem elegendő ahhoz, hogy rövid záridővel, viszonylag alacsony fényérzékenység és képzaj mellett bemozdulástól mentes felvételeket készítsünk. Érdemes tehát felkapcsolni az összes lámpát a fénymennyiség növelése érdekében.

Bár a beltéri világítások fénye egyenletesnek és állandónak tűnik, bizonyos lámpák (elsősorban neonsövek) fénye furcsa anomáliákat okozhat a fotogrammetriai képsorozaton. Ha adott színhőmérsékleten fotózunk, az egyes képek fehérregyensúlya és színezete jelentősen eltérhet egymástól, valamint a képeken sötétebb és világosabb sávok váltakozását tapasztalhatjuk. Ez annak köszönhető, hogy a neonfény, amelyet szemünk állandónak érzékel, gyakorlatilag folyamatosan változik. Amennyiben a képek színén kívül más képi elem nem változik jelentősen a fotósorozat elkészítése közben, akkor a jelenség nincs különösebb hatással a fényképek illeszthetőségére.



## *Időjárási viszonyok*

### *Szél*

Kültéri környezetben a háromdimenziós képrögzítés egyik legnagyobb el-  
lensége a szél. A légmozgás hatására ugyanis (az egyébként is igen apró  
elemekből álló) növényzet, valamint egyes tereptárgyak folyamatosan  
mozgásban vannak, így az átfedő felvételeken ugyanazon objektumok más  
és más helyzetben képződnek le, amely egyrészt megnehezíti a felvételek  
illesztését, másrészt anomáliákat eredményez a modellen a mozgó térré-  
szek rekonstruálásakor (27. számú ábra). Szerencsére a növényzet pontos  
dokumentálása a legtöbb esetben irreleváns, így nem okoz problémát, ha  
egy fa esetében nem látszik pontosan a levelek és ágak helyzete. A releváns  
objektumokra a szélnek jellemzően nincs hatása, így a képalkotás sok eset-  
ben széles időben is kivitelezhető.



27. számú ábra

A növényzet, így a fák lombkoronájának struktúráját a fotogrammetria gyakran nem ké-  
pes valóságghú részletességgel visszaadni, ennek egyik oka pedig az, hogy a növényzet  
kültéren a legkisebb szellő hatására is elmozdul.<sup>48</sup>

---

<sup>48</sup> Forrás: <https://sketchfab.com/3d-models/chateau-de-la-bretesche-rawscan-2eeeba7fa4-824666b485bbc8e919da1c>  
Letöltés ideje: 2023.09.20.

### *Csapadék*

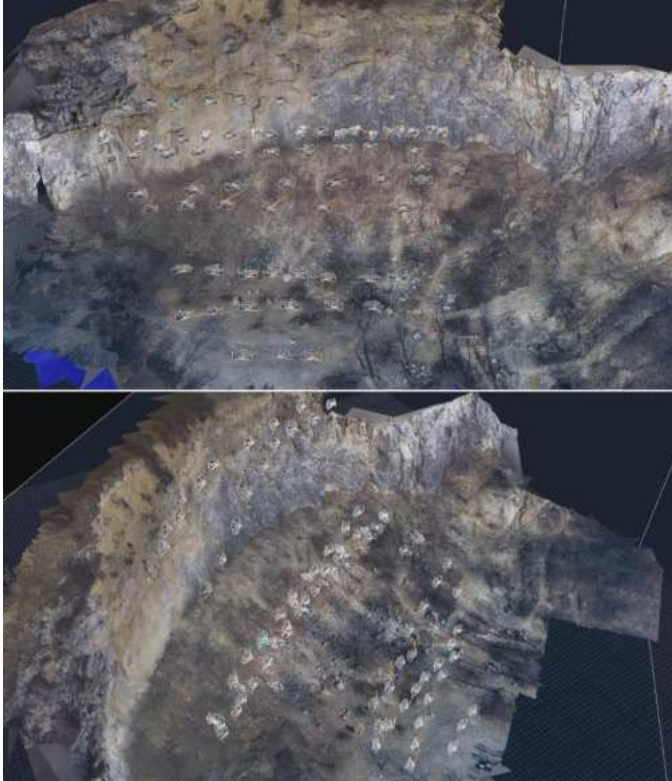
A csapadék több szempontból is negatív irányba befolyásolhatja a sikeres háromdimenziós képrögzítést. Esőben egyrészt korlátozottak a látási viszonyok, másrészt az esőcseppek a szélhez hasonló mozgást idézhetnek elő bizonyos tárgyakon és felületeken. Eső hatására bizonyos, releváns objektumok, például a talajon képződött lábbelinyomok vagy keréknyomok folyamatosan változnak, degradálódnak, így azokat érdemes a csapadéktól védve tartani és a képrögzítés elején dokumentálni.

A csapadék továbbá a kamera beázását, így a képrögzítés ellehetetlenítését eredményezheti, így mindenképp érdemes megfontolni, érdemes-e esős időben kivitelezni az eljárást. A hó az esőnél is jelentősebb mértékben csökkentheti a látási viszonyokat, a hópihék fényképezéskor kirajzolódó vonalai pedig csökkenthetik a rekonstrukció sikerességét. A hulló hó elfedhet bizonyos releváns objektumokat, például a talajon vagy hóban leképződött nyomokat, így ezeket érdemes védeni a havazástól és célszerű még a képrögzítés elején dokumentálni. A havazás korlátozza továbbá a nagy kiterjedésű területekről készítendő légi felvételek rögzítését, a hóborítottság továbbá a nagy kiterjedésű, kevés részletet tartalmazó, fehér felületek által megnehezíti a légi felvételek illeszthetőségét.

### *A fotózott objektum vagy helyszín mérete*

Minél nagyobb kiterjedésű egy adott bűnügyi helyszín, annál több fényképfelvételre lesz szükség a kellő részletességű háromdimenziós rekonstrukcióhoz (28. számú ábra). A rekonstrukcióra használt szoftverek befogadóképessége azonban limitált, még csúcskategóriás hardverek használata mellett sem érdemes 500–600 darabnál több képet készíteni egy-egy területről, mert a modellalkotás irreálisan hosszú időt vehet igénybe, vagy akár sikertelen is lehet (a szoftveres rekonstrukció során a képpalkotó algoritmus kénytelen minden képet minden képpel összehasonlítani az illesztés és a

képkalkotás érdekében, így a képek számának növekedésével egy kép szoftveres feldolgozásának időigénye egyre nő).



28. számú ábra

Egy nagy kiterjedésű kőfejtő háromdimenziós modelljének részlete. A modellben látható téglalapok az alkalmazott, UAV-re szerelt kamera fényképkészítési pozícióit jelölik (a szerzők saját felvételei, RealityCapture)

A képrögzítés előtt tehát mindenképp szükséges mérlegelni, hogy a helyszín méretét figyelembe véve hogyan készítsük el a felvételeket:

- 1) Vajon a helyszín minden egyes része releváns? – Nagy kiterjedésű helyszínek esetében érdemes kizárólag a cselekmény szempontjából releváns térrészekre koncentrálni. Ha emberölés történik egy kertés házban, akár teljesen figyelmen kívül is hagyhatjuk a kertet, illetve a képrögzítés során érdemes kizárólag azokra a helyiségekre fókuszálni, ahol a cselekmény zajlott, releváns elváltozások vagy nyomok láthatók, vagy ahol az áldozat elhelyezkedett.
- 2) Milyen részletességre van szükség? – Egy nagy kiterjedésű kültéri helyszín, például egy robbantás vagy repülőgép-szerencsétlenség helyszíne esetében mindenképp megfontolandó UAV-k alkalmazása és légi felvételek készítése. Minél nagyobb kiterjedésű a helyszín, annál magasabbról célszerű elkészíteni a légi felvételeket. Így a felvételek száma csökkenthető, ugyanakkor figyelembe kell venni, hogy a modell részletgazdagsága is csökken.
- 3) Részletlen és részletgazdag területek kombinálása. – Előfordulhat, hogy egy nagy kiterjedésű helyszín esetében szükség van arra, hogy egészében lássuk a teljes helyszínt, egyetlen háromdimenziós modellben, ugyanakkor fontos, hogy egyes részleteit, például a robbantás origóját vagy az áldozatokat és környezetüket nagy részletgazdagságban integrálhassuk a modellbe. Ilyen esetekben érdemes a légi felvételek elkészítése mellett a talajon, részletesen, kézi fényképezéssel dokumentálni a releváns térrészeket. Gondoskodni kell ugyanakkor arról, hogy a légi felvételek és a talajon készült fényképsorozatok egymással összeilleszthetők legyenek, tehát az UAV-t be kell vezetni a releváns helyszínrészekhez, eközben pedig folyamatosan felvételeket kell készíteni azzal.

## *A háromdimenziós képrögzítést megnehezítő tényezők*

### *Tükröződő, fényes felületek*

A fényvisszaverő, tükröződő felületek (többek között például egy autó, lakozott bútorok, fémek) problémát okozhatnak a modellalkotáskor. Ezek a felületek olyan képi információkat hordoznak, mintha magában a tükröződésben „folytatódna a tér”, ez pedig egyfajta műtermékként, anomáliaként jelenik majd meg a háromdimenziós modellben (29. számú ábra). Az ilyesfajta műtermékek elkerülendők annak érdekében, hogy a modell minél valóságosabb maradjon (3D modellező szoftverek segítségével ugyan van lehetőség a műhatások bizonyos mértékű utólagos javítására, ugyanakkor ez a kriminalisztikai képrögzítés alapelveivel ellentétes, ezért csak nagyon korlátozott mértékben alkalmazható). A tükröződések, csillogás egy része kiküszöbölhető, ha a kamera objektívjére polárszűrőt helyezünk, ám a fémes felületek tükröződéseit a polárszűrő sem képes kiszűrni.



29. számú ábra

Az autó felszínének tükröződése miatt úgy tűnik, mintha az egyébként sértetlen gépjármű megrongálódott volna. A „horpadások” a tükröződések okozta anomáliák  
(a szerzők saját felvétele, RealityCapture)

### *Mozgó objektumok*

A pontos háromdimenziós képalkotás teljes mozdulatlanságot követel meg. A helyszínen minden mozgó elemének dokumentálása esetén anomáliákat fogunk tapasztalni a modellalkotáskor, ha a mozgó elemek más-más helyzetben jelennek meg az egymással átfedő képkockákon. Ha a mozgó objektum nagy és dokumentálás közben jelentősen elmozdul, az jelentősen befolyásolhatja a modellalkotás folyamatát. Éppen ezért élőlények, a légmozgás hatására könnyen elmozduló objektumok (például növényzet, függöny, ponyvák, fóliák) dokumentálása esetében nagy körültekintéssel kell eljárni, és lehetőség szerint arra kell törekedni, hogy minimalizáljuk az objektumok elmozdulását, vagy megszüntessük a mozgást előidéző faktorokat (például ajtók, ablakok bezárása a légmozgás csökkentése érdekében).

### *Áttetsző objektumok*

Ahogy szemünk, úgy a kamera szenzora sem „látja” az áttetsző, jellemzően üveg- és műanyag felületeket. Azokon legfeljebb a csillanások, fénytörés és tükröződések érzékelhetők. Éppen ezért például egy üveglak háromdimenziós rögzítése esetén az tapasztalható, hogy az áttetsző felület üres, kitöltetlen térrészként jelenik majd meg a modellben, vagy az egyébként áttetsző felület helyén jellemzően fehéres összefüggő (nem átlátszó) felület keletkezik (30. számú ábra).



30. számú ábra

Az áttetsző felületek, mint például az ablaküveg, rendszeresen okoz problémát a modellalkotás során. A háromdimenziós modellrészlet bal oldalán érhető tetten, hogy az áttetsző üvegfelület hiányként jelenik meg a modellben (a szerzők saját felvétele, RealityCapture)

### *Nagy kiterjedésű, homogén felszínek*

A háromdimenziós képalkotás alapját a kellő mértékben átfedő képek láncolata jelenti. Abban az esetben, ha a képsorozat egy részén nagy, homogén felületek kerülnek dokumentálásra, hiába elegendően nagy az átfedés a szomszédos képek között, ha nincsenek a képeken jól definiálható illesztési pontok, amelyek fedésbe hozhatók. Tipikusan ilyen probléma adódik épületek belterében, nagy, egyszínű, homogén falfelületeken. Ilyen esetben igyekezni kell távolabbról dokumentálni ezeket a felületeket, oly módon, hogy más tárgyak is szerepeljenek a fényképeken, amelyek megfelelő illesztési pontként szolgálhatnak a szomszédos felvételek között. Amennyiben nincs lehetőség arra, hogy távolabbról dokumentáljuk ezeket a felületeket, úgy meg lehet kísérelni egy lézeres kép fix pontból történő kivetítését az adott felületre. Ezáltal egyfajta textúrát adunk a homogén felületnek,

amely megkönnyíti az illesztést. Természetesen ez textúrafestéssel, szalagok felragasztásával is kivitelezhető, ám a lézeres kivetítés nondestruktív módszer, és nem veszélyezteti az esetlegesen fellelhető nyomok és anyagmaradványok épségét. A homogén felszínek további problémája, hogy textúra hiányában, illesztés során a szoftver nem minden esetben képes felületként érzékelni azokat, így bizonyos nagy kiterjedésű, fehér falfelületek hiányosan vagy jelentősen torzultan jelenhetnek meg a modellben, de gyakori és jellegzetes torzítás, hogy a fehér, részlettelen fal úgy jelenik meg a modellben, mintha az koszos lenne, holott az eredeti falfelület nem ilyen volt.

### *Rácsok, kerítések*

Az ilyen jellegű struktúrák leképződnek ugyan a fényképeken, ám folytonossági hiányaik és apró geometriai struktúrájuk miatt nehezen értelmezhetők a rekonstrukcióért felelős szoftver számára. Éppen ezért a rácsok, drótkerítések hiányosan jelenhetnek meg a háromdimenziós modellben (31. számú ábra). A szoftver fejlődése révén ez a probléma a jövőben finomodhat.





31. számú ábra

A modellrészleten látható ágy alsó rácsát képes volt megjeleníteni a szoftver, azonban a felső rácsról kevesebb felvétel készült, így az erősen hiányosan jelenik meg (a szerzők saját felvétele, RealityCapture)

### *Korlátozott hely és hozzáférhetőség*

Bűnügyi helyszíneken problémát okozhat a tér szűkössége, bizonyos helyek, térrészek, objektumok korlátozott hozzáférhetősége, hiszen oly módon kell elkészíteni a képsorozatot, hogy mozgásunk közben a releváns nyomok, elváltozások ne sérüljenek, illetve ne semmisüljenek meg. Ugyanakkor törekedni kell arra, hogy különösen a cselekmény szempontjából releváns térrészek minden eleme dokumentálásra kerüljön, figyelemmel a bútorok alsó részeire és az objektumok fal felé néző részeire. Amennyiben bizonyos fotókat a szemle kezdeti szakaszában nem lehetett elkészíteni, ám a releváns nyomok és anyagmaradványok rögzítése után adott helyek hozzáférhetővé váltak, és az ott elhelyezkedő objektumokat nem mozdították

el, úgy kiegészítő felvételeket a szemle további szakaszaiban is készíthetünk, amelyeket később beilleszthetünk a háromdimenziós rekonstrukciót célzó képsorozatba.

### *A helyszín megváltozása*

Ha a helyszín a szemle során, a képrögzítés elkészítése közben megváltozik (például a holttestet vagy egyes tárgyakat elmozdítanak), az jelentősen befolyásolhatja a rekonstrukciót, ezért törekedni kell arra, hogy a képrögzítés ideje alatt a helyszín eredeti állapota ne változzon. Oda kell figyelni továbbá a képkészítés közbeni mozgásra is, hiszen mozgásunk hatására a padlón elhelyezkedő tárgyak, bútorok is elmozdulhatnak.

### **A kriminalisztikai fotogrammetria lehetséges alkalmazási területei**

Bár a 13/2012. (VII. 30.) ORFK utasítás hatályon kívül helyezését megelőzően még lehetőséget biztosított a háromdimenziós képrögzítési eljárások, mint a szemlejegyzőkönyv mellékletét képező „speciális eszköz által biztosított vizsgálati dokumentáció” alkalmazására, ezek az utóbbi években mégsem terjedtek el. Hazánkban háromdimenziós képalkotásra rendkívül kevés esetben került sor, az elsődleges limitáló tényező pedig az erre alkalmas eszközök hiánya a bűnügyi technikai és szakértői területeken. Bár az egyes háromdimenziós képrögzítési technikák egyelőre nem váltják ki a hagyományos fotódokumentációt, ezekben mégis számos potenciál rejlik, amely segíti a helyszín egészének interpretációját, méretek meghatározását, a helyszínen talált objektumok állapotának megtekintését, egyes nyomok és elváltozások rögzítését, azok szakértői értelmezését, adott cselekmények modellezését, sőt, akár egyes bizonyítási eljárások lefolytatását

is.<sup>49,50</sup> A háromdimenziós képalkotási folyamat megbízható, hitelesített és reprodukálható. Hozzá kell tenni azonban, hogy bármely képalkotási technikát válasszuk is, mind a képrögzítés, mind a modellalkotás időigényes, amely jelentősen befolyásolhatja a helyszíni szemle időtartamát, így alkalmazása elsősorban kiemelt bűncselekmények helyszínein, vagy abban az esetben célszerű, ha nondestruktív nyomrögzítés szükséges. A fotogrammetria mindazonáltal olyan gyors és jó minőségű háromdimenziós képrögzítést tesz lehetővé, amely bármely helyszíni szemlén, bármely bűnügyi technikus által kivitelezhető, legyen szó akár a teljes helyszínről, vagy csupán bizonyos, releváns objektumok 3D rögzítéséről.

### ***Helyszínrögzítés helyszíni szemle során***

Kiemelt bűncselekmények esetén célszerű és szükséges lehet a teljes helyszínről átfogó képet adó, bejárható, fotórealisztikus háromdimenziós modell megalkotása. A fotogrammetria kültéren és beltérben egyaránt sikerrel alkalmazható. Nagy kiterjedésű kültéri helyszínek esetén e célra kiválóan alkalmazhatók fényképezőgéppel felszerelt UAV-k (unmanned aerial vehicle = pilóta nélküli repülőgép), drónok, ám lehetőség van a helyszíni szisztematikus bejárásával történő kézi fényképrögzítésre is. A módszer bármilyen kültér, így például közlekedési balesetek, robbantások helyszínről

---

<sup>49</sup> Buck, U., Naether, S., Braun, M., Bolliger, S., Friederich, H., Jackowski, C., Aghayev, E., Christe, A., Vock, P., Dirnhofer, R. & Thali, M. J.: Application of 3D documentation and geometric reconstruction methods in traffic accident analysis: with high resolution surface scanning, radiological MSCT/MRI scanning and real data based animation. Forensic Science International 2007/1. 20-28. o.

Forrás: <https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2006.08.024>

<sup>50</sup> Buck, U., Naether, S., Räss, B., Jackowski, C., & Thali, M. J.: Accident or homicide–virtual crime scene reconstruction using 3D methods. Forensic Science International, 2013/1-3. 75-84. o.

Forrás: <https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2012.05.015>

ének rögzítésére is kiválóan alkalmas. Bármilyen épület belsejében kivitelezhető, legyen szó akár egy teljes épület belterének, vagy csupán egy-egy helyiségnek a rögzítéséről.

#### *A fotogrammetriai úton történő helyszínrögzítés előnyei*

- a felvételek bármilyen léptékben, bármilyen objektívvel rögzíthetők egyetlen fényképezőgép segítségével,
- a legrejtettebb zugok is lefényképezhetők, a sötét területek tetszőlegesen megvilágíthatók, ezáltal a helyszínen minden részlete megjeleníthetővé válik,
- a releváns objektumok és területek pontfelhője és textúrája körültekintőbb, alaposabb dokumentáció útján nagy részletességgel rögzíthető.
- A helyszíni háromdimenziós modell megtekintésével az ügyben eljáró nyomozó, ügyész, bíró és védő szinte azonnal, a szemlejegyzőkönyv és a fotómelléklet részletes áttanulmányozása nélkül is megértheti a helyszínen felépítését, az egyes objektumok elhelyezkedését és helyzetét.

#### *A fotogrammetriai úton történő helyszínrögzítés korlátai*

- szisztematikus bejárást és fényképezést igényel,
- a túlságosan kis átfedéssel készült, rossz minőségű (például alulexponált), elrontott (életlen, bemozdult) felvételek csökkentik a pontos rekonstrukció esélyét,
- a csillogó, fényszóró és áttetsző felületek dokumentálása nagy körültekintést igényel,
- a nagy kiterjedésű, egyszínű, homogén felületek rögzítése speciális technikák alkalmazását igényli abban az esetben, ha két átfedő felvétel között nagyon kevés, vagy egyáltalán nincs jól azonosítható átfedési pont,

- a sűrű növényzettel benőtt kültéri helyszínek a növényzet apró mozgásai miatt nem, vagy csak korlátozottan alkalmasak háromdimenziós rögzítésre.

### ***Releváns objektumok (tárgyak, nyomok, elváltozások, holttestek) rögzítése***

Bizonyos, különösen nagy jelentőséggel bíró helyszíni objektumokat érdemes háromdimenzióban rögzíteni pusztán azért, hogy azok állapota, pozíciója, a környező objektumokhoz való viszonya és távolsága, illetve az azon látható elváltozások pontosan és maradéktalanul, ellenőrizhető módon kerüljenek dokumentálására. Ilyen objektumok lehetnek az elkövetés szempontjából releváns tárgyak, eszközök, holttestek, emberi maradványok, illetve elsősorban térfogati nyomok és elváltozások (például térfogati lábbelinyom, keréknyom, eszköznyom, bármilyen fegyver okozta sérülés és elváltozás, harapásnyom), valamint olyan nyomok, amelyek térbeli, egymáshoz viszonyított elhelyezkedése jelentőséggel bír (lábnyomcsapás, vérfreccsenés). Az objektumok méretétől függően fotogrammetriai rögzítésükre normál, nagylátószögű vagy makrooptikák alkalmazandók.

### ***A térbeli kiterjedéssel bíró releváns objektumok fotogrammetriai úton történő rögzítésének előnyei***

- Nondestruktív módszer, a rögzítés az objektumok állapotának megváltozása nélkül, minimális információvesztéssel kivitelezhető,
- bizonyos nehezen megmintázható nyomok (például lábbelinyom száraz, homokos, finomszemcsés talajban, hóban) dokumentálására jóval hatékonyabban alkalmazható, mint a hagyományos megmintázási technikák,
- alkalmas az eredetben nem rögzíthető tárgyak és azok elváltozásainak részletes dokumentálására (például gépjárművek sérülései),

Ujvári Zsolt – Metzger Máté: A fotogrammetria kriminalisztikai alkalmazása – tudományosan megalapozott módszerek fényképezőgép segítségével történő 3D képrögzítéshez

- egy összefüggő, több felületre kiterjedő vérfreccsenés-mintázat leg-tökéletesebb dokumentációját teszi lehetővé.

*A térbeli kiterjedéssel bíró releváns objektumok fotogrammetriai úton történő rögzítésének hátrányai*

- A túlságosan kis átfedéssel készült, rossz minőségű (például alul-exponált), elrontott (életlen, bemozdult) felvételek csökkentik a pontos rekonstrukció esélyét,
- a csillogó, fényszóró és áttetsző felületek dokumentálása nagy körültekintést igényel,
- az apró méretű nyomok fotogrammetriai úton történő rögzítése a szűk mélységélesség-tartomány miatt körültekintést igényel és idő-igényes, így mérlegelni kell, hogy a nyom megmintázásához képest jár-e valódi előnnyel.

### ***Élő személyek háromdimenziós rögzítésének lehetőségei***

Kriminalisztikai szempontból élő személyek esetén elsősorban a különböző sérülések, elsődlegesen az összehasonlító vizsgálatra alkalmas harapásnyomok háromdimenziós dokumentálása bír jelentőséggel. Ezek a háromdimenziós modellek nyomszakértők számára lehetnek hasznosak abban az esetben, ha rendelkezésre áll az összehasonlításra alkalmas, két- vagy háromdimenziós fogászati referenciafelvétel.

A jövőben lehetőség nyílhat továbbá élő személyek arcának háromdimenziós rögzítésére, amely pedig a bűnügyi nyilvántartásba vétel szempontjából lehet fontos. A háromdimenziós felvétel nem csupán több információt hordoz a kétdimenziós felvételeknél, hanem sokkal objektívebb képet mutat a rögzített arcról, mint egy fénykép, hiszen az arc struktúráinak méretei és arányai valóság-hűek maradnak, nem jelentkeznek az objektívek által okozott torzulások. Másrészt a háromdimenziós modellek tetszőleges

irányba elforgathatók, így a nyilvántartásban szereplő modellek elforgatásával az arcképelemzésre használt szoftver olyan szögből készült, elemzésre beküldött felvétel alapján is eredményesen készíthet kandidátusi listát, amelyek azonosítására a nyilvántartásban szereplő kétdimenziós képek alapján egyelőre korlátozott a lehetőség.

### *Élő személyek háromdimenziós rögzítésének előnyei*

- A sérülésekről (elsősorban harapásnyomról) készített háromdimenziós felvételek megfelelő referenciefelvételekkel térben összeilleszthetők, ez pedig megalapozhatja az azonosság kimondását,
- az arcról készített háromdimenziós modell sokkal több információt hordoz, mint a nyilvántartásba vétel során készített felvételek,
- az arc háromdimenziós modellje nem érzékeny az objektív okozta torzításokra,
- a háromdimenziós arcképanyilvántartás sokrétű keresést és várhatóan jóval nagyobb eredményességet tesz lehetővé.

### *Élő személyek háromdimenziós rögzítésének korlátai*

- A jó minőségű háromdimenziós modell elkészítéséhez teljes mozdulatlanság szükséges,
- bizonyos testrészek könnyen mozdulatlanul tarthatók, akár néhány percen keresztül is, ám a légzőmozgások, valamint a szemek, illetve az arc mimikai izmainak mozgása csak rövid ideig, részben, vagy egyáltalán nem kontrollálható,
- bár van lehetőség arra, hogy egy háromdimenziós fotogrammetriai modell minden képét egyszerre, egyetlen pillanat alatt rögzítsük, ehhez azonban egy komplex, jól megkonstruált kamerarendszer összehangolt működése szükséges.

## **A Fotogrammetriai modellek felhasználhatósága**

### ***Mérések kivitelezése***

A fotogrammetriai eljárással készített háromdimenziós modellekben lehetőség van bármilyen objektum bármilyen méretének megmérésére, illetve bármilyen távolság meghatározására, amennyiben a modellben szerepel olyan objektum, amelynek ismerjük a pontos méretét. Éppen ezért minden modell elkészítését megelőzően metrikus skálájú mérőeszközt kell helyezni a rögzítendő környezetbe oly módon, hogy az eszköz ne takarja a rögzítendő objektumot. A metrikus fényképfelvételekkel ellentétben nincs megkötés arra vonatkozóan, hogy a mérőeszköz milyen pozícióban és milyen síkban helyezkedjen el mindaddig, amíg arról készül olyan éles felvétel, amely beilleszthető a háromdimenziós modellbe. A mérőeszközzel felvett bármilyen méret referenciaként szolgál, ez a referencia teszi lehetővé a modell tetszőleges két pontja közötti távolság meghatározását. Szükség esetén több mérőeszköz is helyezhető a fotózott objektum környezetébe, különösen akkor, ha nagyobb kiterjedésű objektumot (például egy egész helyiséget) fotózunk, hiszen ez növelheti a mérési pontosságot. A mérés pontossága természetesen függ attól, hogy egy adott objektumról milyen távolságból, milyen léptékben készültek felvételek. Nagy kiterjedésű hely-



színek drónfelvételekből illesztett modelljei esetén a pontosság centimétekben, nyomokról készült makrofelvételekből alkotott háromdimenziós modellek esetében pedig tizedmilliméterekben mérhető.<sup>51,52,53,54</sup>

### ***Felhasználás helyszínrajzként***

A fotogrammetria útján készített, nagy részletességű háromdimenziós modell akár teljes egészében kiválthatja a helyszínrajzot. A helyszín felülnézetből vagy bármilyen vetületből bemutatható a modellen keresztül, illetve azon minden méret és releváns objektum pontosan meghatározható és jelölhető (32. számú ábra). A modell egyetlen hátránya csupán az, hogy nem kellően letisztult, vagyis nem kizárólag a releváns tárgyakat tartalmazza, hanem minden rögzített objektumot.

---

<sup>51</sup> Hossam, F.: Study the accuracy of digital close range photogrammetry technique software as a measuring tool. Alexandria Engineering Journal. 2018. 171-179. o.

Forrás: <https://doi.org/10.1016/j.aej.2018.04.004>

<sup>52</sup> Michienzi, R., Meier, S., Ebert, L. C., Martinez, R. M. & Sieberth, T.: Comparison of forensic photo-documentation to a photogrammetric solution using the multi-camera system "Botscan". Forensic Science International. 2018. 46-52. o.

Forrás: <https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2018.04.012>

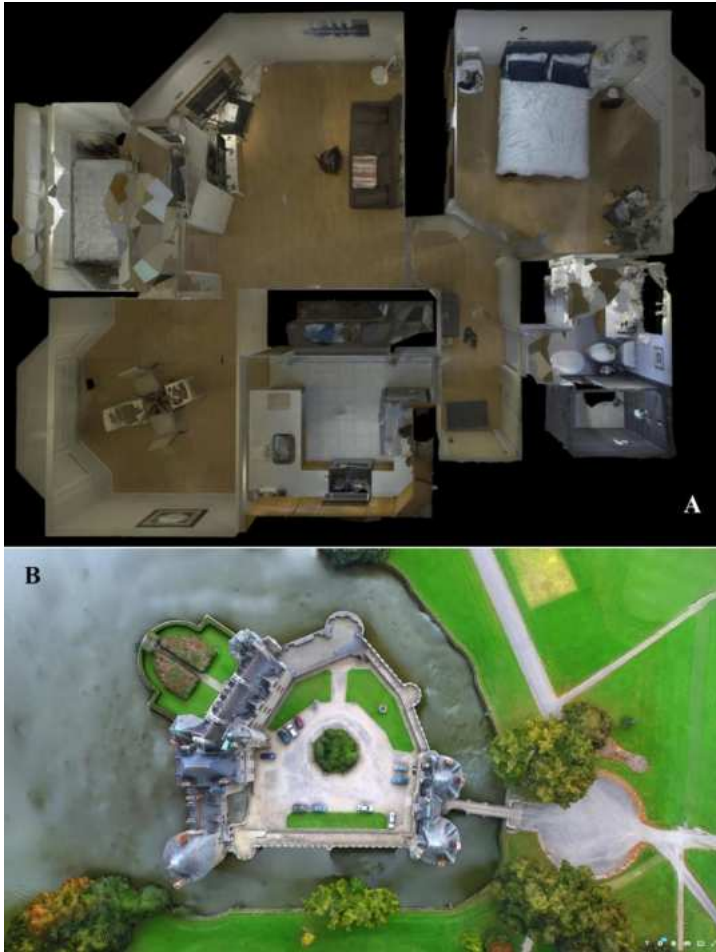
<sup>53</sup> Buck, U., Buße, K., Campana, L., & Schyma, C.: Validation and evaluation of measuring methods for the 3D documentation of external injuries in the field of forensic medicine. International Journal of Legal Medicine. 2018. 551-561. o.

Forrás: <https://doi.org/10.1007/s00414-017-1756-6>

<sup>54</sup> Koller, S., Ebert, L. C., Martinez, R. M., & Sieberth, T.: Using virtual reality for forensic examinations of injuries. Forensic Science International. 2019. 30-35. o.

Forrás: <https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2018.11.006>

Ujvári Zsolt – Metzger Máté: A fotogrammetria kriminalisztikai alkalmazása – tudományosan megalapozott módszerek fényképezőgép segítségével történő 3D képrögzítéshez



32. számú ábra

Modellek felhasználása helyszínrajzként. A – lakás belterének felülnézeti képe<sup>55</sup>;  
B – nagy kiterjedésű kültéri helyszín felülnézeti képe<sup>56</sup>

<sup>55</sup> Forrás: <https://sketchfab.com/3d-models/full-apartment-interior-photogrammetry-1c0291f982824fc3aebd27ef96279db7>

Letöltés ideje: 2023.09.20.

<sup>56</sup> Forrás: <https://sketchfab.com/3d-models/chateau-de-la-bretesche-rawscan-2eeeba7fa4824666b485bbc8e919da1c>

Letöltés ideje: 2023.09.20.

## *Szakértői felhasználás*

A fotogrammetria nem csupán arra alkalmas, hogy a helyszín egészét és annak állapotát dokumentáljuk. Mivel a kriminalisztikai fényképezéshez hasonlóan nondestruktív eljárásról van szó – amely azonban sokkal több információt hordoz magában egy-egy fényképfelvételnél –, kiválóan alkalmazható különböző nyomok, elváltozások és kisebb-nagyobb méretű objektumok háromdimenziós rögzítésére, sőt akár a nyomok és elváltozások keletkezésének lehetséges körülményeit bemutató animáció elkészítésére is.

### *Nyom- és fegyverszakértői terület*

A háromdimenziós képalkotás elsődlegesen térfogati nyomok rögzítése kapcsán bír jelentőséggel, de kiválóan alkalmazható olyan felületi nyomok esetén is, amelyek egymáshoz képesti viszonya, elhelyezkedése releváns, különösen akkor, ha ezek a nyomok más-más felületeken, más-más síkokban helyezkednek el. Lehetőség nyílik továbbá a nem síkfelületen leképződött felületi nyomok (például eszköznyomon leképződött véres tenyérynym) síkba történő kiterítésére, amely nagyban megkönnyíti a szakértői munkát. A nondestruktív fotogrammetriai rögzítési technika lehetővé teszi a nehezen megmintázható térfogati nyomok (például hóban, porban, homokban leképződött lábbelinyom) tökéletes háromdimenziós képének megalkotását anélkül, hogy a nyom bármilyen sérülést szenvedne, illetve a megmintázásos technikákkal szemben korlátlan számban megismételhető információvesztés nélkül addig, amíg a nyom egyéb okok következtében nem sérül, vagy meg nem semmisül. Minden nyom és elváltozás metrikus mérőeszköz jelenlétében rögzítendő, vagyis a nyom mellé a fotók elkészítése előtt megfelelő skálájú mérőeszközt kell helyezni. Az ilyen formában rögzített nyomokat a nyomszakértő a megfelelő szoftver segítségével tetszőleges nézőpontból megvizsgálhatja, méréseket végezhet rajta. Amennyiben rendelkezésre áll a lehetséges nyomképző eszköz, valamint arról

szintén háromdimenziós modell készül, lehetőség van a nyom és a nyomképző háromdimenziós illesztésére, a nyomképződési mechanizmus modellezésére.<sup>57,58,59,60,61</sup> A nyom és a nyomképző 3D nyomtató segítségével kinyomtatható, a nyomtatott objektumok illesztése így akár fizikailag is megvalósítható. Természetesen ilyen esetben a fotogrammetriai rögzítésből, valamint a 3D nyomtató hibahatárából adódó pontatlanságokat számításba kell venni.

A háromdimenziós képrögzítés a következő térfogati nyomok és elváltozások rögzítésére kiválóan alkalmazható: lábbelinyomok (33. számú ábra), lábnyomok, járművek nyomai, eszköznyomok, szúrt, lövési és egyéb sérülések, fognyomok, harapásnyomok.

---

<sup>57</sup> Thali, M. J., Braun, M., Brüscheiler, W. & Dirnhofer, R.: Matching tire tracks on the head using forensic photogrammetry. *Forensic Science International* 2000/1-3. 281-287. o. Forrás: [https://doi.org/10.1016/S0379-0738\(00\)00234-6](https://doi.org/10.1016/S0379-0738(00)00234-6)

<sup>58</sup> Dirnhofer, R., Thali, M. J., Vock, P., Braun, J., & Wirth, J.: 3D surface and body documentation in forensic medicine: 3-D/CAD Photogrammetry merged with 3D radiological scanning. *Journal of Forensic Sciences* 2003/6. JFS2003118. Forrás: <https://doi.org/10.1520/JFS2003118>

<sup>59</sup> Thali, M. J., Braun, M., Buck, U., Aghayev, E., Jackowski, C., Vock, P., Sonnenschein, M. & Dirnhofer, R.: VIRTOPSY—scientific documentation, reconstruction and animation in forensic: individual and real 3D data based geo-metric approach including optical body/object surface and radiological CT/MRI scanning. *Journal of Forensic Sciences*, 2005/2. 428-442. o. Forrás: <https://doi.org/10.1520/JFS2004290>

<sup>60</sup> Buck, U., Naether, S., & Thali, M. J.: External body documentation. In: *The Virtopsy Approach: 3D Optical and Radiological Scanning and Reconstruction in Forensic Medicine*. CRC Press. 2009a. 51-60. o.

<sup>61</sup> Buck, U., Naether, S., & Thali, M. J.: Virtopsy as a multi-tool approach. In: *The Virtopsy Approach: 3D Optical and Radiological Scanning and Reconstruction in Forensic Medicine*. CRC Press. 2009b. 51-60. o.



33. számú ábra

Sárban leképződött lábbelinyomról készített háromdimenziós modell felülnézeti képe (a szerzők saját felvétele, RealityCapture)

A háromdimenziós képrögzítés alkalmazása bizonyos felületi nyomok, így lábnyomcsapások, nagy felületen elhelyezkedő számos lábnyom vagy lábbelinyom dokumentálására is célszerű. Az elkészített háromdimenziós modell informatívabb és pontosabb az egyszerű panorámafelvételeknél, nem szenved a fényképezőgép objektívjének torzításaitól.

A vérnyomok és vérfreccsenések háromdimenziós dokumentációja kiemelkedő jelentőséggel bír (34. számú ábra). A nyomszakértő egy háromdimenziós modellben összefüggéseiben láthatja az összes vérnyomot, ezáltal pedig sokkal pontosabb becslést tud adni azok keletkezési körülményeire és mechanizmusára, így a cselekmény folyamatára is. A vérfoltok alakja és térbeli elhelyezkedése alapján egy, a modellt felhasználó vérnyomelemző szoftver segítségével megállapítható, hogy a vérfoltok a tér mely pontjáról és milyen sebességgel kerültek a felszínre.<sup>62</sup> Megállapítható lehet

---

<sup>62</sup> Petrétei, D., Fullár, A., Ujvári, Zs. & Metzger, M.: Innovative and traditional techniques in crime scene reconstruction – a case study. LILERS. 2023. (Megjelenés alatt.)

az elkövetés eszköze, az elkövető és a sértett testhelyzete, mozgása, a freccsenést okozó mozdulatok kiindulópontjai, illetve azok száma, a cselekmény egyéb elemei (például vércsepp elkenése, véres testfelület és falfelület érintkezése), a vérnyomok keletkezésének sorrendisége, mindezek pedig lehetővé teszik akár a cselekmény háromdimenziós modellezését is.



34. számú ábra  
Vérnyomokkal teli helyszínről készített háromdimenziós modell részletei  
(a szerzők saját felvétele, RealityCapture)

A háromdimenziós modellek alkalmasak lehetnek továbbá lőfegyverrel elkövetett bűncselekmények helyszínén történő lőirány-meghatározásra. A lövési elváltozások elhelyezkedéséből és alakjából következtetni lehet a lőirányra, valamint a lövést leadó személy pozíciójára, ezáltal lőirány-meghatározó pálcák és lézerek nélkül is rekonstruálhatóvá válik a cselekmény lehetséges végbemenetele, amely animáció formájában demonstrálható.

### *Orvosszakértői és antropológiai terület*

Hatósági és igazságügyi boncolások alkalmával a holttestek dokumentálása elsősorban írásban, esetleg néhány fényképfelvétel elkészítése útján valósul meg, a teljeskörű vizuális, esetleg háromdimenziós dokumentáció ritkán alkalmazott eljárás. Mivel mind a természetes bomlás, mind pedig a boncolás során megváltozik a holttest állapota, ezért célszerű és indokolt lehet a holttestek boncolását megelőző, fotogrammetria útján történő gyors dokumentálás (35. számú ábra). Ezáltal a megállapítások ellenőrizhetővé, a sérülések és egyedi jellegzetességek pedig újra szemügyre vehetővé, mérhetővé válnak. Ugyanígy lehetőség van – akár boncolás közben is – a sérült, rendellenes területek háromdimenziós rögzítésére, amelyek egyrészt alátámasztják a megállapításokat, másrészt oktatásban felhasználható demonstrációs anyagként is szolgálhatnak.



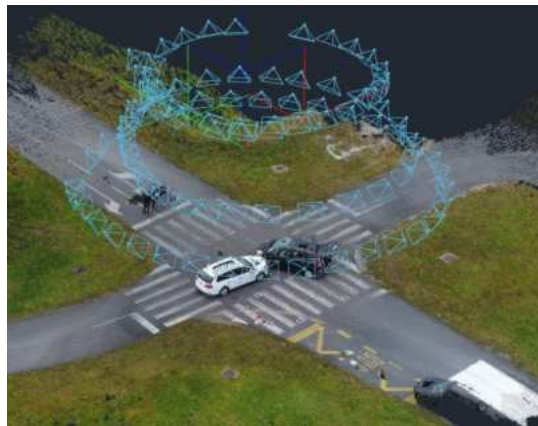


35. számú ábra

Holttestekről készített háromdimenziós modellek. Egy kellően részletgazdag modell elkészítéséhez mindössze 50 fényképre és 3 percre volt szükség (a szerzők saját felvétele, RealityCapture)

### *Közlekedési szakértői terület*

Közlekedési balesetek elemzése esetén elkerülhetetlen a helyszín pontos és mérethelyes képének megalkotása (36. számú ábra). Ez készülhet helyszínrajz formájában, bár manapság egyre elterjedtebb a drónokra szerelt akciókamerák útján történő légifelvétel-készítés. A légi felvételek általában a területre merőleges irányban készülnek, felülnézeti képet adva a baleset helyszínéről, ha azonban több nézőpontból és szögből, különböző magasságokból készítünk légi felvételeket, az lehetőséget biztosít egy fotogrammetriai háromdimenziós modell megalkotására. Háromdimenziós modell nem csupán a levegőből, hanem a helyszín bejárása során rögzített fényképfelvételekből is készíthető. A háromdimenziós modell önmagában olyan információkat is tartalmaz (például az egyenletlenségek, a felületek lejtése), amelyek a helyszínrajzon csak különböző vetületi ábrák segítségével mutathatók be. A modellben továbbá lehetőség nyílik a közúti baleset modellezésére, amely nagyban megkönnyíti a szakvélemény értelmezését.



36. számú ábra

Egy közlekedési baleset helyszínéről, UAV segítségével készített légifelvételekből illesztett háromdimenziós modell képei<sup>63</sup>

---

<sup>63</sup> Forrás: <https://3dsurvey.si/>  
Letöltés ideje: 2023.09.20.

### *Archeológiai terület*

Legyen szó akár egyetlen sír, vagy egy komplett ásatás egy-egy momentumának dokumentálásáról, a fotogrammetria kiváló lehetőséget biztosít arra, hogy a feltárás adott pillanatát egy teljes egészében körbejárható és szemrevételezhető modellben rögzítse. Ez azért is fontos, mivel egy régészeti feltárás során a vizsgált objektum folyamatosan és visszafordíthatatlanul változik. Így nyomon követhetővé válik a feltárás folyamata, valamint rendkívüli részletgazdagságban megőrizhetők a feltárás egyes stádiumai (37. számú ábra).



37. számú ábra

Egy ásatás adott stádiumáról készített háromdimenziós modell részletei  
(a szerzők saját felvétele, RealityCapture)

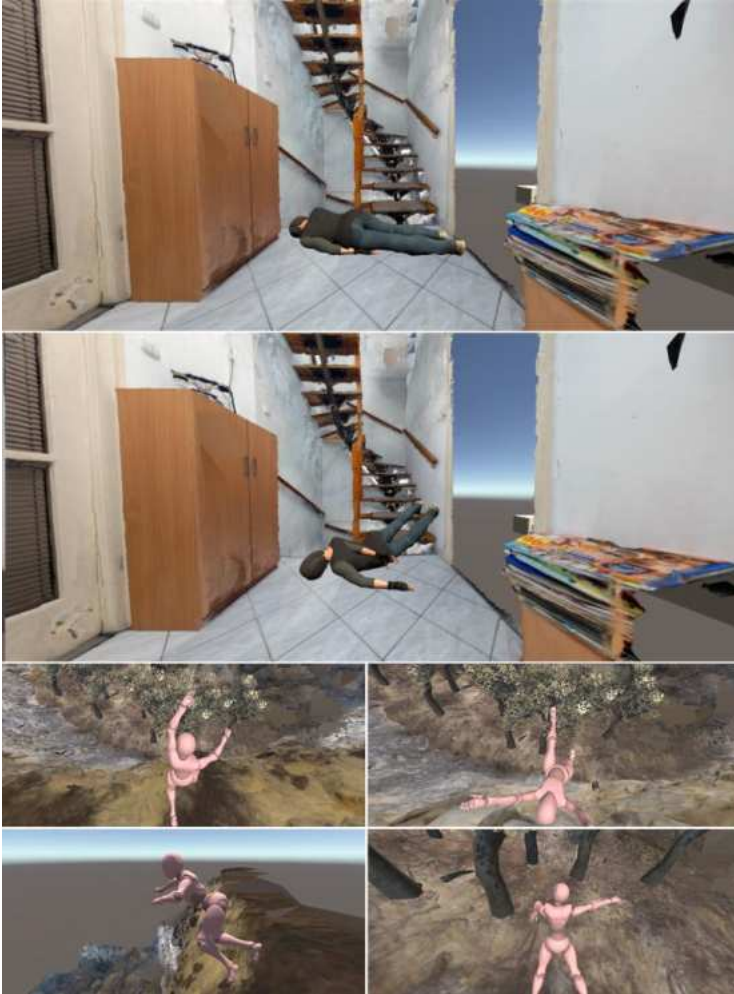
### *Építészeti és műszaki szakértői terület*

A háromdimenziós modellalkotás ugyancsak új perspektívát nyithat e két szakterületen. Elsődleges előnye a nagyfokú pontosság. A fotogrammetriai révén rendkívül pontos háromdimenziós modellek készíthetők, ami kritikus szerepet játszik a baleseti helyszínek és egyéb esetek dokumentálása során, ahol minden részletre kiterjedő pontosságra van szükség. A fotogrammetria lehetőséget nyújt továbbá az események virtuális térben történő rekonstrukciójára és különböző szempontok szerinti elemzésére. A technológia alkalmas a helyszíni változások rendszeres dokumentálására, amelyek kulcsfontosságúak lehetnek adott tények bizonyítása során. Tehát amennyiben egy adott helyszínről időről időre készülnek háromdimenziós modellek, azokon tetten érhetők, továbbá pontosan mérhetők az adott időperiódus alatt bekövetkezett változások. Végül, az ily módon készített fotogrammetriai modellek megfelelően kiegészítik a szakvéleményt, segítik annak interpretációját, valamint erősítik is a kialakított véleményt, mivel a dokumentációs módszer objektív és tudományos alapokon nyugszik.

### *Fizikus szakértői terület*

A helyszínekről készített háromdimenziós modellek a fizikus szakértők számára is segítséget nyújthatnak. Bizonyos szoftverek segítségével ugyanis szimulálható a gravitáció és egyéb fizikai paraméterek, egyes objektumokhoz pedig pontos tömeg rendelhető, a térben pedig bizonyos objektumok tetszőleges sebességgel mozgathatók, vagy azokra tetszőleges erőhatás mérhető. Mindennek alapját a geometriailag pontos, a kriminalisztikai szempontból releváns objektumról készült 3D modell képezi. Minél komplexebb módszerekkel történik a fizikai hatások szimulációja, annál pontosabban rekonstruálható egy cselekmény, így akár helyszíni vagy labor körülmények között végzett bizonyítási kísérletek digitális formában is végrehajthatóvá, illetve bemutathatóvá válnak (38. számú ábra). Így többek között válasz adható olyan kérdésekre, hogy milyen kezdősebesség vagy

fizikai erő hatására, illetve milyen pozícióból kerülhetett egy adott objektum a helyszínen talált állapotába.



38. számú ábra

Virtuális bábuval, háromdimenziós térben, valós fizikai paraméterek mellett végzett, le-  
esést modellező kísérletek képei  
(a szerzők saját felvétele, Unity)

### ***Interaktív környezet és virtuális valóság***

A háromdimenziós modell nem csupán egy síkképernyőn körbejárható, minden ízében megvizsgálható, fotórealisztikus tér. A szoftverek rohamos fejlődésével egyre több és több interaktív elem integrálható e modellekbe, legyen szó akár helyszíni fényképfelvételekről, a rögzített nyomok és anyagmaradványok jelöléséről, az ezekhez kapcsolódó vizsgálatok eredményeiről. A környezet interaktívra tehető, egyes, releváns objektumok önálló háromdimenziós képeinek integrálása által azok „megfoghatóvá”, mozgathatóvá válnak, tetszőleges szögből megvizsgálhatók. A modellebe építhető a szakértői eredmények által rekonstruált cselekmény animációja, tehát a helyszín digitális másában tekinthetjük meg a cselekmény feltételezett menetét. Ezek a modellek pedig nem csupán képernyőn tekinthetők meg, hanem akár virtuális valóság szemüvegen keresztül úgy szemlélhetjük vagy járhatjuk körbe a helyszínt, mintha mi magunk is ott tartózkodnánk.<sup>64</sup>

### ***Cselekmények modellezése***

Bár igen komplex folyamat, bizonyos indokolt, illetve kérdéses szituációkban, kiemelt bűncselekmények, közlekedési balesetek esetén lehetőség nyílik a meghatározó mozzanatok háromdimenziós mozgókép formájában történő rekonstrukciójára. Az animált cselekmény szakértői véleményekre és észrevételekre támaszkodik, a helyszín állapotának lehető legtöbb aspektusát figyelembe véve, és ezek alapján egy lehetséges, valószínű forgatókönyvet mutat be, amely nagyban elősegítheti a szakértői vélemény, valamint a vélt események megértését és interpretálását.

---

<sup>64</sup> Sieberth, T., Dobay, Á., Affolter, R. & Ebert, L.: A toolbox for the rapid prototyping of crime scene reconstructions in virtual reality. *Forensic Science International* 2019. 1-6. o. Forrás: <https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2019.110006>

### ***Felhasználás egyéb bizonyítási cselekményekben***

A különböző objektumokról, személyekről készített háromdimenziós modellek használata a jövőben célszerű és indokolt lehet akár felismerésre bemutatás, illetve személy vagy tárgy kiválasztása során. A modellek egyrészt sokkal több információt hordoznak, mint a fényképek, másrészt – elsősorban tárgy kiválasztása esetén – nem igénylik a részt vevő személy, vagy a lefoglalt, hitelesen csomagolt, esetleg épp szakértői vizsgálat alatt álló bűnjelek fizikai jelenlétét.

A bizonyítási kísérlet mesterségesen létrehozott körülmények között keresi a választ arra, hogy az adott cselekmény a meghatározott helyen, időben, módon és körülmények között megtörténhetett-e. A gyakorlatban leggyakrabban súlyos közúti balesetek esetén, láthatósági kísérletek formájában valósul meg. A háromdimenziós tér, valamint a megfelelő objektumok (például járművek, gyalogosok) eredeti pozíciójának rekonstruálása, illetve az adott környezeti tényezők (például köd, világosság, fényforrások) szimulációja akár lehetővé teszi az ilyen láthatósági kísérletek digitális lefolytatását. A módszer előnye, hogy nem igényli különböző személyek és tárgyak együttes fizikai jelenlétét, valamint általa elkerülhetők az egyes területi lezárások, amelyek forgalmi akadályokat okozhatnak.

### ***Bírósági felhasználás***

A bíróság – mint a büntetőeljárás során keletkezett iratok és eredmények végfelhasználója – sokszor számos problémába ütközik a különböző eljárási cselekmények eredményeit tartalmazó dokumentumok értelmezése során. Egy bejárható háromdimenziós modell óriási segítséget nyújt a szemlejegyzőkönyvben foglaltak megértését illetően mindazok számára, akik nem jártak az adott helyszínen. Nem beszélve arról, hogy a helyszín akár virtuális valóság szemüveg segítségével fizikailag is bejárhatóvá válik, illetve abba integrálhatóan megjelenhetnek az észlelt elváltozások mögött feltárt összefüggések, a rögzített nyomok és anyagmaradványok kapcsán

keletkezett szakértői megállapítások, valamint ebben a térben szimulálható bármely releváns cselekmény. Az eddigi gyakorlati tapasztalatok szerint a bíróság jelenlegi eszközfelszereltsége elegendő a fotogrammetriai háromdimenziós modellek, illetve az azok segítségével készített egyéb fájlok megjelenítésére, bemutatására.

### ***Oktatási felhasználás***

A háromdimenziós modellek – legyen szó akár egy komplett bűnügyi helyszínről, kisebb objektumról, holttestről, nyomról –, mint a rögzített objektum pontos, fotórealisztikus másai, rendkívül széles spektrumban használhatók fel oktatási célokra. Egy komplett, valós bűnügyi helyszín háromdimenziós mása felhasználható akár bűnügyi technikusok és szemlebizottság-vezetők képzése során, hiszen eredeti, életszerű körülmények útján segíthet fejleszteni a helyszíni gondolkodást. A tapasztalatok alapján a hatósági és igazságügyi boncolások során készült 3D modellek kiválóan alkalmazhatók az igazságügyi orvostan oktatásában.

### ***Bűnügyi nyilvántartásba vétel***

A háromdimenziós képrögzítés bűnügyi nyilvántartásba vételre való felhasználása egyelőre tudományos fantasztikum. Maga a nyilvántartásba vétel jelenleg pillanatszerű, hiszen egy vagy néhány fénykép elkészítését igényli csupán, a rögzítéséhez pedig a nyilvántartásba vett személy mozdulatlansága szükséges. Nem várható el, hogy a nyilvántartásba vett személy percekig mozdulatlanul üljön (a fentiekben írtak szerint erre nem is lenne képes), ahogy az sem, hogy a nyilvántartásba vételt végző személy bármilyen képrögzítési eljárással percekig töltsön el e folyamattal. Léteznek ugyan fotogrammetriai technikák, amelyek alkalmasak a pillanatszerű háromdimenziós képrögzítésre, ám ezek komplex, jól felépített kamerarendszer összehangolt működését igénylik. Az egyedileg konstruált, számos,



akár száz kamerát tartalmazó fotogrammetriai képrögzítő rendszerek rendkívül költségesek, éppen ezért nem terjedtek el, csupán kísérleti jelleggel használja ezeket néhány erre specializálódott cég (39. számú ábra). Annak megállapítása, hogy egy háromdimenziós kép mennyi előnnyel rendelkezik a kétdimenziós felvételekhez képest, és megéri-e ezekért az előnyökért költséges eszközöket és komplex technikákat alkalmazni a nyilvántartásba vétel során, még számos kutatást igényel.<sup>65,66</sup>



39. számú ábra  
Esper LightCage fotogrammetriai kameraberendezés<sup>67</sup>

---

<sup>65</sup> Leipner A., Obertová, Z., Wermuth, M., Thali, M., Ottiker, T. & Sieberth, T.: 3D mug shot – 3D head models from photogrammetry for forensic identification. *Forensic Science International* 2019/300. 6-12. o.

Forrás: <https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2019.04.015>

<sup>66</sup> Leipner, A., Baumesiter, R., Thali, M. J., Braun, M., Dobler, E. & Ebert, L. C.: Multi-camera system for 3D forensic documentation. *Forensic Science International*, 2016/261, 123-128. o.

Forrás: <https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2016.02.003>

<sup>67</sup> Forrás: [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Esper\\_LightCage\\_photogrammetry\\_camera\\_rig.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Esper_LightCage_photogrammetry_camera_rig.jpg)

Letöltés ideje: 2023.09.20.

## **Fotogrammetria útján történő háromdimenziós képalkotás a helyszínen**

Bármilyen objektumról is kívánunk háromdimenziós modellt készíteni, ahhoz, hogy a modell skálázható legyen, illetve a modellben elhelyezkedő objektumokon méréseket lehessen végezni, a rögzítendő objektum környezetébe hitelesített mérőeszközöket kell helyezni. Minden modell esetében célszerű legalább két, egymásra merőleges vagy derékszögű mérőeszközt alkalmazni, mivel minél több, illetve a térben minél változatosabban elhelyezkedő lépték alapján skálázzuk a modellt, abban annál pontosabb mérések végezhetők majd, a tér bármely irányában.

### ***Holttestek háromdimenziós rögzítése***

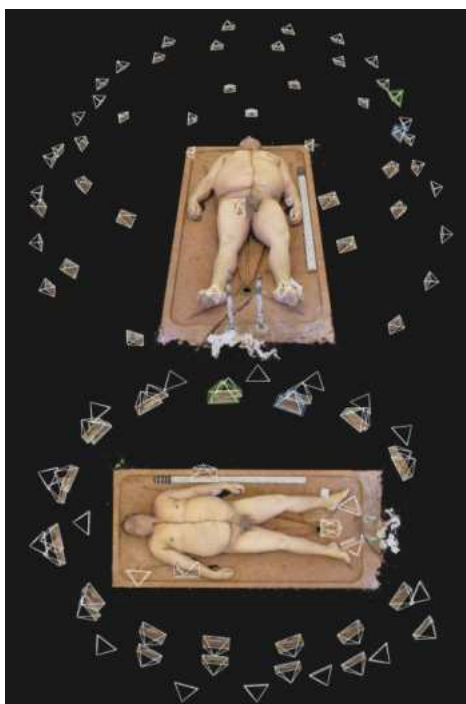
Holttestek háromdimenziós rögzítésére jellemzően eredeti megtalálási állapotukban, a helyszínen, illetve boncteremben nyílik lehetőség.

Egy helyszínen a képrögzítés módját befolyásolhatja a megvilágítás, a holttest és a környezetében lévő objektumok egymáshoz viszonyított helyzete, valamint a holttest megközelíthetősége, hozzáférhetősége. A képrögzítéshez csak abban az esetben lássunk hozzá, ha mozgásunk nem fenyegeti a holttest környezetében elhelyezkedő nyomok és elváltozások megváltozását, megsemmisülését, vagy az anyagmaradványok kontaminációját.

Először is el kell dönteni, hogy a holttest háromdimenziós rögzítésére eredeti helyzetében vagy elmozdítása után, felöltözött vagy lemeztelenített állapotában van-e szükségünk, továbbá azt, hogy elegendő-e a holttest elülső felének rögzítése, vagy szükségünk van a háti oldal háromdimenziós képére is. A holttest elmozdítása után a holttest elülső és hátulsó oldaláról készített 3D felvételek a testrészek elmozdulása miatt nem illeszthetők össze, így külön modellekként kezelendők.

Fényképezhetünk természetes megvilágítás, a beltéri, mesterséges megvilágítás fényei mellett, használhatunk továbbá saját lámpákat, illetve vakut is.

Amennyiben a holttest jól körüljárható, úgy érdemes három különböző magasságból, vagyis a talaj síkjától számított három különböző szögből ( $\sim 10^\circ$ ,  $40^\circ$  és  $70^\circ$ ) elkészíteni a felvételeket oly módon, hogy a kamera lencséje a test középpontja felé nézzen (40. számú ábra). A holttest körüljárása közben minden magasságból elegendő 15 képet készíteni a pontos rekonstrukcióhoz. Érdemes továbbá befényképezni a takarásban lévő területekre, így a holttest torzója és karjai közötti területre, a lábak közötti területre és a talpak területére. További közeli, illetve részletfelvételeket készíthetünk az arcról és a fejről, a sérülésekről, valamint az egyedi azonosításra alkalmas jegyekről (például tetoválásokról, műtési hegekről).



40. számú ábra

Holttest háromdimenziós fotogrammetriai rögzítésének módszertana. A gúlákat a fényképezés helyét és irányultságát jelölik (a szerzők saját felvétele, RealityCapture)

Amennyiben a holttest nem járható körül (például helyiség sarkában, fal mellett fekszik), a fényképek készítésére az előzőekben leírt módon, ám nem egy teljes kör, csupán egy félkör vagy körcikk mentén kerülhet sor. Megfontolandó lehet továbbá a holttest elmozdítása és a képrögzítés olyan helyen történő kivitelezése, ahol semmi sem akadályozza a test teljes körbejárását.

Boncteremben ideális feltételek adódnak a fényképezéshez, mivel a fényviszonyok megfelelőek, a holttest lemeztelenített, egyszerűen körüljárható és szükség esetén mozgatható.

A javasolt fényképezési beállítások: nagylátószögű objektív (10–24 mm), az adott gyújtótávolság mellett kellően rövid záridő a bemozdulások elkerüléséhez (1/30s vagy rövidebb), közepesen szűk rekeszérték (f/8-10), a megvilágítás függvényében alacsony vagy közepesen magas fényérzékenység (ISO 100-2000), szükség esetén vaku alkalmazása.

Holttest esetén egy jó minőségű háromdimenziós modell elkészítéséhez legalább 50 felvételre van szükség. Nem érdemes azonban 100-nál több felvételt készíteni, mert egy bizonyos képmennyiség felett a befektetett munka és idő mennyisége már nem befolyásolja jelentősen a modell minőségét. Egyetlen holttest fotózására legfeljebb 3 percet célszerű fordítani.

A képrögzítés megkezdése előtt érdemes derékszögű metrikus mérőeszköz helyezni a holttest közvetlen közelébe oly módon, hogy a mérőeszköz a képsorozat minél több képén szerepeljen.

### ***Helyszínek háromdimenziós rögzítése***

A helyszínek – mint rendszerint nagy kiterjedésű, komplex geometriájú objektumok – háromdimenziós rögzítése jelenti a legnagyobb kihívást, illetve igényli a legnagyobb rutint és körültekintést. Míg egy-egy objektum (például holttest, tárgy, nyom) jól körülhatárolható vagy körüljárható, addig egy helyszínen a dokumentálandó tér belsejében mozgunk. Egy szoba padlóján lépdelünk, különböző tárgyak között, gyakran szűk helyeken fényké-

pezünk, és sokszor a releváns részek nehezen megközelíthető helyeken találhatók (például vérfreccsenés egy szék ülőfelületének alján). Így a helyszín bejárása és dokumentálása során fokozottan fennáll a veszélye annak, hogy a képsorozat elkészítése közben a tárgyak és nyomok helyzete vagy formája megváltozik (elmozdul egy szék, összegyűrődik egy ruha), illetve mi magunk is nyomokat hagyhatunk magunk után (például egy poros, saras felületen sétálva). A képrögzítést oly módon kell tehát kivitelezni, hogy a lehető legkevésbé változtassunk a helyszínen, illetve szisztematikusan, egy irányba haladva fényképezzünk, szinte végigpásztázva, letapogatva a helyszín minden releváns felületét, akár egy szkanner. Van lehetőség a korábbi pontokra való visszatérésre, ha úgy érezzük, egy-egy térrész vagy felület dokumentálása kimaradt, és ha nem történt lényeges változás, elmozdulás az adott térrészen. Ha a kimaradt részt újabb fotók segítségével „be tudjuk kötni” a korábbi fotók láncolatába, akkor a később rögzített képek is sikerrel hasznosíthatók majd a modellalkotás során.

### *Kültéri helyszínek*

A kültéri helyszínek állítják az embert a legváltozatosabb kihívások elé. A megvilágítás az erős napsütés kontrasztos árnyékaitól a felhős idő kiváló, szórt megvilágításán át a szürkületi és éjszakai fényteleniségig, igen széles skálán változhat. Nagy területek esetén a megvilágítás korlátozottsága miatt éjszaka a képsorozat elkészítésének lehetősége is korlátozott, hiszen sokszor egy vaku vagy lámpa segítségével nem tudunk kellően nagy térrészt megvilágítani. Itt szembesülhetünk azokkal a környezeti tényezőkkel (szél, csapadék), amelyek erősen befolyásolhatják vagy akár ellehetetleníthetik a képrögzítés folyamatát.

Nagy kiterjedésű kültéri helyszínek (többek között például robbantások, közlekedési balesetek) esetében lehetőség nyílik az UAV-k segítségével történő légi felvételek készítésére. Az UAV-k jellemzően kisméretű akciókamerákkal felszereltek. Ezen akciókamerák szenzora kicsi, jellemzően

alacsonyabb felbontású, gyengébb minőségű képek készítését teszik lehetővé, illetve teljesen automatikus beállításokkal dolgoznak. Leggyakrabban tömörített fájlformátumú (.JPG), ritkán azonban tömörítetlen (RAW) fájlformátumú képeket készítenek. Az akciókamerák előnye, hogy nagylátószögű objektívükkel, légifelvétel esetén rendszerint nagy távolságokból készítenek óriási mélységélességű képeket, illetve az automatikus beállítások használata mellett is rendszerint jól exponált felvételeket eredményeznek. Az UAV-k segítségével végzett légi fényképezés során szisztematikusan kell bejárni a területet. Meg kell tervezni, hogy az UAV-t milyen magasságban és milyen útvonalon vezetjük végig a helyszín felett. Az útvonalon olyan gyakorisággal kell fényképeket készíteni, hogy azok kellő mértékben átfedjenek egymással. Nem jó, illetve semmiképp sem elegendő, ha a kamera a talajfelszínre merőlegesen készít felvételeket. Mindenképp célszerű a kamerát a merőlegetől eltérő (például 45°-os) szögben döntve használni. Az útvonal egy-egy pozíciójából több felvétel is készíthető, a kamera más-más irányokba történő forgatásával (nem döntésével). A helyszínen található nagyobb objektumokat (például épületeket) érdemes körbepülni, és felszíneit oly módon dokumentálni, mintha egy tárgyat fotózánk körbe. Tehát egy házat több magasságban is érdemes körbepülni úgy, hogy a kamera mindig a ház középpontja felé nézzen, és a kör mentén, a különböző magasságokban elegendő számú, kellő mértékben átfedő felvételeket kell készíteni. Amennyiben az UAV-k kamerái által készített légifelvételeket szeretnénk összekötni a talajszinten készített, földi képsorozatokkal, úgy gondoskodni kell arról, hogy az UAV-t levezessük minden releváns objektumhoz, és közben folyamatosan felvételeket készítsünk, oly módon, hogy a légi és földi felvételek egymással fedésbe kerüljenek, így képesek leszünk egyetlen fotóláncba olvasztani a különálló képsorozatokot.

Kültéri helyszínen a földi felvételek ugyancsak szisztematikus bejárással készíthetők el. Érdemes megtervezni az útvonalat, és oly módon bejárni azt, hogy ne maradjanak ki területek, és lehetőség szerint minél kevesebb-szer kelljen visszatérni egy, már bejárt területre – így kerülve el, hogy az

esetlegesen megváltozott környezet (például saját, sárban leképződött láb-belinyomaink) is dokumentálásra kerüljön. A bejárás során ügyelni kell arra, hogy az egymást követő felvételek kellő mértékben átfedjenek egymással. Folyamatosan célszerű változtatni a kamera pozícióját, elfordulását, dőlésszögét, és bepillantani az eldugott, nehezen hozzáférhető helyekre (például különböző objektumok alá, mögé és fölé) oly módon, hogy a képsorozat folyamatossága ne szakadjon meg.

A kültéri helyszíni képek elkészítése során oda kell figyelni továbbá arra, hogy ne készítsünk túlzottan sok felvételt, illetve ne fordítsunk a dokumentációra irreálisan hosszú időt. Bármilyen nagyméretű is a helyszín, a felvételek számát igyekezzünk 500-ban maximalizálni. Ez legkönnyebben úgy érhető el, ha az irreleváns térrészeket távolabbról, nagyobb léptékben „letapogatva” dokumentáljuk, és csak a cselekmény szempontjából releváns környezetet (például holttest, nyomok, elváltozások) dokumentáljuk nagyobb részletességgel.

Metrikus mérőeszköz gyanánt érdemes legalább két, egymásra merőleges mérőlécet vagy mérőszalagot helyezni a helyszín irreleváns részeire (olyan helyre, ahol a mérőeszköz semmilyen fontos részletet sem takar), oly módon, hogy a mérőeszköz a képsorozat minél több képén szerepeljen. Nagyobb magasságból készített légi felvételek esetén mérőeszközök alkalmazása helyett célszerű lehet néhány olyan pontszerű objektum közötti távolság pontos (lézeres távolságmérővel történő) meghatározása, amelyek jól láthatók a modellen. Ebben az esetben a modell skálázása az ily módon felvett méretek alapján történhet.

### *Beltéri helyszínek*

A beltéri helyszínek a kültériekkel szemben egyszerűbbek, jellemzően kisebbek és jól behatárolhatók. Kevesebb, a képsorozat elkészítését limitáló faktorialtalálkozhatunk. Sokkal kevésbé érvényesülnek a környezeti hatások, illetve jellemzően találunk mesterséges fényforrásokat (lámpákat) az egyes helyiségekben, a fényforrások hiányában pedig az egyes helyiségek

saját fényeinkkel (lámpával vagy vakuval) sokkal hatékonyabban megvilágíthatók, mint a kültéri helyszínek.

A beltéri helyszínek a falak által sokkal diszkrétebben tagoltak, mint egy kültéri helyszín, így könnyen és jól behatárolhatóan választhatjuk meg, mely helyiségeket szeretnénk rekonstruálni háromdimenzióban. Így már a folyamat elején eldönthetjük, szükséges-e az épület teljes belterének háromdimenzós rekonstrukciója, vagy elegendő-e csupán a releváns helyiségek rögzítése.

Beltérben csak ritkán nyílik mód UAV-k alkalmazására. Jellemzően olyan épületek belsejében lehet rá szükség, amelyek tágas belső terekkel rendelkeznek (például raktárak, hangárok), vagy megközelítésük valamilyen oknál fogva nem biztonságos (többek között például a kiégett, összeomlott épületek, sugárzás, fertőzésveszély). Számolni kell ugyanakkor azazal, hogy az UAV-k rotorja által keltett légmozgás szűk belterek esetében megváltoztatja a különböző objektumok helyzetét, így az UAV-k e célra történő alkalmazhatósága korlátozott.

A beltéri helyszínek a kültérekhez hasonlóan szisztematikusan bejárandók, érdemes előre megtervezni a bejárás útvonalát. A bejárás során ügyelni kell arra, hogy az egymást követő felvételek kellő mértékben átfedjenek egymással. Folyamatosan célszerű változtatni a kamera pozícióját, elfordulását, dőlésszögét, és bepillantani az eldugott, nehezen hozzáférhető helyekre (például különböző objektumok alá, mögé és fölé) oly módon, hogy a képsorozat folyamatossága ne szakadjon meg. Kihívást jelenthetnek a nagy, homogén felületek, elsősorban a textúrát nem hordozó fal-felületek, különösen tágas, nagy belmagasságú helyiségek tekintetében. Ilyen esetekben a 4.4.4. fejezetben foglaltak szerint célszerű eljárni.

A beltéri helyszínek – bár a kültérekénél jellemzően kisebbek – rendkívül komplex geometriával rendelkezhetnek, hiszen azokban számos objektumot találhatunk. Éppen ezért beltéri helyszínek esetén is oda kell figyelni arra, hogy ne készítsünk túlzottan sok felvételt, illetve ne fordítsunk a dokumentációra irreálisan hosszú időt. Bármilyen nagyméretű is a helyszín,



a felvételek számát – legalább egy diszkrét helyiség esetében – igyekezzünk 500-ban maximalizálni.

Metrikus mérőeszköz gyanánt érdemes két, egymásra merőleges mérőléceket vagy mérőszalagot helyezni a helyszín irreleváns részeire (olyan helyre, ahol a mérőeszköz semmilyen fontos részletet sem takar), oly módon, hogy a mérőeszköz a képsorozat minél több képén szerepeljen.

### ***Térfogati nyomok háromdimenziós rögzítése***

Amíg a térfogati nyomok – jellemzően gipsz vagy szilikon segítségével – kötelezően megmintázandók, addig a háromdimenziós képrögzítési eljárás pusztán kiegészítő eszközként tekinthető. Am olyan nyomok esetében, ahol a megmintázás során fokozottan fennáll a sérülés vagy megsemmisülés veszélye (például hóban, finom porban leképződött nyomok esetében), mindenképp érdemes fontolóra venni annak gyors, nondestruktív, fotogrammetria útján történő háromdimenziós rekonstrukcióját.

A térfogati nyomok háromdimenziós képrögzítése csak akkor kivitelezhető, ha azok jól hozzáférhető helyen találhatóak. Minél nagyobb továbbá a térfogati nyom, annál egyszerűbben és pontosabban rögzíthető. Az igazi kihívást az egészen apró méretű eszköznymok jelenthetik, hiszen azok dokumentálásához nagy leképezésű objektív és nagy mennyiségű fény szükséges.

Egy keréknyom, lábbelinyom, vagy ezekkel ekvivalens méretű nyomok esetében célszerű nagylátószögű objektívet használni. Megfontolandó továbbá egy erős fényű lámpa – mint sűrűfényt biztosító fényforrás – a nyom síkjával szinte párhuzamos, alacsony beesési szögű alkalmazása, ezáltal az egyes felvételeken láthatóvá válik majd a nyom struktúrája. Azonban sűrűfény helyett vaku is alkalmazható, s bár a fényképeken nem rajzolódik majd ki olyan részletgazdagságban a nyom, mint sűrűfény esetén, a háromdimenziós rekonstrukció ettől függetlenül pontos leképezést fog adni, és annak megvilágítása szoftveresen változtatható. Amennyiben a nyom jól

körüljárható, úgy érdemes két különböző magasságból, vagyis a talaj síkjától számított két különböző szögből ( $\sim 30^\circ$  és  $60^\circ$ ) elkészíteni a felvételeket oly módon, hogy a kamera lencséje a nyom középpontja felé nézzen. A nyom körüljárása közben mindkét magasságból elegendő 15 képet készíteni a pontos rekonstrukcióhoz. A nagyméretű térfogati nyomok geometriája jellemzően kevésbé komplex, mint egy holttest geometriája, ezért nem szükséges három magasságból, három különböző szögből három különböző képsorozatot készíteni a nyomról.

A nagyméretű nyomok esetén javasolt fényképezési beállítások: nagylátószögű objektív (10–24 mm), az adott gyújtótávolság mellett kellően rövid záridő a bemozdulások elkerüléséhez (1/30s vagy rövidebb), közepesen szűk rekeszérték (f/8-10), a megvilágítás függvényében alacsony vagy közepesen magas fényérzékenység (ISO 100-2000), szükség esetén vaku alkalmazása.

Kisméretű térfogati nyomok (például különböző eszköznyomok, feszítési nyomok) esetében az eljárás annyiban különbözik a fent leírtaktól, hogy nagy leképezésű – tehát jellemzően makro – objektívet kell használni. Ennek segítségével kellően nagy leképezéssel – kvázi nagyobb nagyítással – készíthetjük el a fotósorozatot. Így azonban a fókusz távolság rövidebbé válik (közelebb kell mennünk a nyomhoz), ennek hatására pedig csökken az éles tartomány mélysége. Minél nagyobb gyújtótávolságú a használt objektív, annál szűkebbé válik az éles tartomány. Célszerű éppen ezért nagy leképezésű, ám rövid gyújtótávolságú, úgynevezett nagylátószögű makrooptikát használni, de megfontolandó a kompakt fényképezőgépek, mobiltelefonok nagy mélységelességet biztosító, nagylátószögű makro üzemmódjának használata is. A mélységelesség növelése érdekében szűk rekeszértéket kell választanunk. A szűk rekesznyílás csökkenti a beérkező fény mennyiségét. A megfelelően rövid záridő biztosítása és a kellően erős megvilágítás érdekében kisméretű nyomok esetében mindig célszerű vakut alkalmazni.

A kisméretű nyomok esetén javasolt fényképezési beállítások: lehetőség szerint nagylátószögű makroobjektív ( $\sim 15$  mm), az adott gyújtótávolság

mellett kellően rövid záridő a bemozdulások elkerüléséhez (1/60s vagy rövidebb), szűk rekeszérték (f/13-22), a megvilágítás függvényében viszonylag alacsony fényérzékenység (ISO 100-500), vaku alkalmazása. Minél nagyobb a makroobjektív gyújtótávolsága (például 50–100 mm), annál szűkebb rekeszérték és annál rövidebb záridő használata javasolt.

Bármilyen méretű nyomról legyen is szó, a képrögzítés megkezdése előtt érdemes derékszögű metrikus mérőeszközt helyezni a nyom közvetlen közelébe oly módon, hogy a mérőeszköz a képsorozat minél több képén szerepeljen.

### **Fotogrammetriai szoftveres rekonstrukció**

A népszerű fotogrammetriai szoftverek alapszintű használata könnyen elsajátítható. Abban az esetben azonban, ha a forrásképek minősége nem tökéletes, további utómunkára, manuális képillesztésre, az egyes beállítások igazítására, valamint a modellek tisztítására lehet szükség. Emiatt a szoftveres fotogrammetriai rekonstrukció alapvetően szaktanácsadói feladat. Ilyen feladatra igénybe vehető szakértelemmel jelenleg Magyarországon a Nemzeti Szakértői és Kutató Központ rendelkezik. Alapjaiban azonban célszerű ismerni a folyamat egyes lépéseit, mivel a szoftveres rekonstrukció lépéseinek ismerete elősegítheti a hatékony képrögzítést is.

A piacon számos fotogrammetriai szoftver létezik.<sup>68,69</sup> Ezeket alapvetően két csoportba sorolhatjuk az alapján, hogy a 3D modell rekonstrukciójához szükséges feldolgozás hol történik. Az első csoportba azok a szoft-

---

<sup>68</sup> Rahaman, H., Champion, E., & Bekele, M.: From photo to 3D to mixed reality: A complete workflow for cultural heritage visualisation and experience. *Digital Applications in Archaeology and Cultural Heritage* 2019. e00102.

Forrás: <https://doi.org/10.1016/j.daach.2019.e00102>

<sup>69</sup> Kingsland, K.: Comparative analysis of digital photogrammetry software for cultural heritage. *Digital Applications in Archaeology and Cultural Heritage* 2020. e00157.

Forrás: <https://doi.org/10.1016/j.daach.2020.e00157>

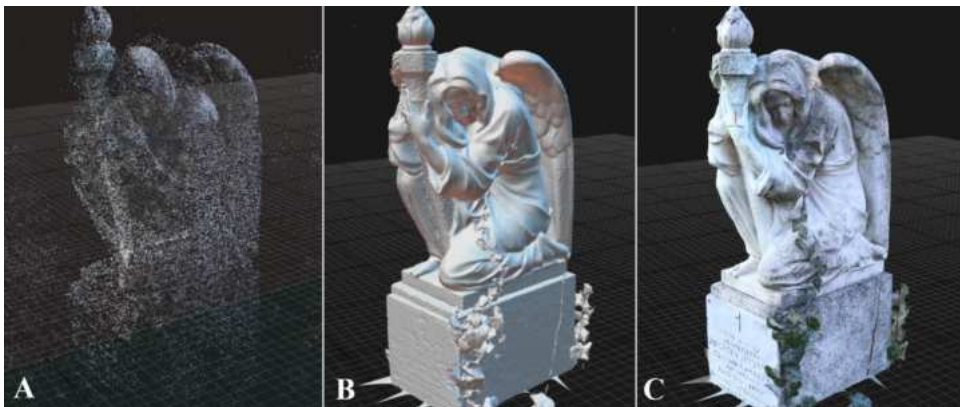
verek tartoznak, amelyek a szoftvert futtató számítógép erőforrásait használják a modellek megalkotásához (például RealityCapture, Agisoft Metashape). Ezek hátránya, hogy működésükhöz modernebb hardver és videokártya szükséges. A másik csoportba azok a szoftverek tartoznak, amelyek a képek feldolgozását távoli szervergépen (felhőben) végzik (például Autodesk Recap Photo). Ezek előnye, hogy használatukhoz nem szükséges komoly számítógépes hardver, ugyanakkor ezek bűnügyi célra nem alkalmasak, mivel az ilyen céllal készült felvételek távoli szerverre történő feltöltése jogos adatvédelmi és információbiztonsági aggályokat vetne fel.

A továbbiakban a fotogrammetriai rekonstrukció folyamatát a RealityCapture szoftveren keresztül mutatjuk be, azonban a munkafolyamat egyéb fotogrammetriai szoftverekben is hasonló. A fotogrammetriai rekonstrukció minden esetben a forrásképek szoftverbe történő importálásával kezdődik. Az importálást követően az első lépés a fényképek illesztése („align images”). Az illesztés során a szoftver kiolvassa a képek rekonstrukciót befolyásoló metaadatait (például a képkészítéshez használt fényképezőgép adatai, fényképezési beállítások), majd a képek elemzése során megkeresi az egyes képek átfedő részleteit. Az illesztést követően egy pontfelhőt kapunk, amely hozzávetőlegesen leképezi a rekonstruálandó objektum 3D struktúráját. Ha a képek nem megfelelő minőségűek, vagy az átfedés nem elégséges, elképzelhető, hogy egyes képek kimaradnak az illesztési folyamatból. A RealityCapture a képek illesztésének sikerét azzal jelzi, hogy a szoftverbe importált képek jobb felső sarkában megjelenik egy zöld pont. Amennyiben az illesztés egy vagy több kép esetében sikertelen, lehetőségünk van manuális illesztésre úgynevezett kontrollpontok segítségével. Ez az „Alignment” menü „Control Points” opciójának kiválasztásával lehetséges. Ezt követően az egyes képeken megjelölhetünk olyan apró, de egyértelműen kivehető részleteket, sajátossági pontokat, amelyek több fényképen is látszanak, ezzel segítve a szoftvert az illesztési pontok megtalálásában. Ezt követően az illesztési folyamatot meg kell ismételni, az új eredményt pedig értékelni kell. Amennyiben az eredmény továbbra sem kielégítő, a még nem illesztett (vagy láthatóan rosszul illesztett) részleteket

ábrázoló területekre újabb kontroll pontokat helyezhetünk. A folyamat addig ismételhető, amíg kielégítő eredményt nem kapunk.

Az illesztést követően a „Reconstruction” fülön indítható a poligonháló rekonstrukciója. Itt három opciónk van. Egyrészt készíthetünk egy előnézeti modellt (Preview), másrészt normál minőségű modellt (Normal detail), valamint teljes részletességű (High detail) modelleket. Mivel jellemzően a normál minőségű modellek is kellően részletesek (a modellek exportálásához gyakran további egyszerűsítés is szükséges ahhoz, hogy a modell átlagos grafikai hardverrel rendelkező számítógépen is megtekinthető legyen), így ezen opció használata javasolt. A rekonstrukció megkezdése előtt a szoftverben megjelenő kijelölő téglatest mozgatásával, méretének változtatásával tudjuk meghatározni, hogy a pontfelhő mely részét szeretnénk kijelölni rekonstrukcióra. Ennek azért van jelentősége, mert az illesztési folyamat során a szoftver gyakran a háttérből, vagy az objektum távolabbi környezetéből is felvesz részleteket, amelyeket azonban nem feltétlen szeretnénk rekonstruálni.

A rekonstrukciót követően egy textúrázatlan (színinformáció nélküli), azonban az objektum geometriáját pontosan reprezentáló modellt kapunk (úgynevezett poligonháló vagy mesh). A poligonháló rekonstrukcióját követően érdemes a „Reconstruction” fül „Check Topology”, „Clean model”, valamint „Close holes” opcióit futtatni, mivel ezek automatikusan javíthatnak bizonyos kisebb hibákat a modell felületén. Végül a „Reconstruction” fül „Texture” opciójával illeszthetünk textúrát a poligonhálóra. Az eredmény a fényképezett objektum pontos, fotórealisztikus 3D mása (41. számú ábra).



41. számú ábra

A fotogrammetriai háromdimenziós rekonstrukció folyamata. A – pontfelhő; B – háló (mesh); C – textúrázott modell  
(a szerzők saját felvételei, RealityCapture)

Előfordulhat azonban, hogy a 3D modell felületén, vagy annak környezetében megjelennek olyan mesterséges hatások, extra poligoncsoportok, amelyeket szeretnénk eltávolítani a modelltől. Ekkor a „Reconstruction” fül alatt a „Selection” csoportba tartozó funkciókkal kijelölhetjük a modell egyes részeit, ezeket pedig a „Filter selection” opcióval eltávolíthatjuk. Előfordulhat, hogy a rekonstruált modell olyan sok poligonból épül fel, hogy egy irodai számítógép nem képes a modell megjelenítésére. Ekkor a „Reconstruction” fül „Simplify tool” opciója segítségével egyszerűsíthetjük a modellt a kívánt poligonszámra. Természetesen ez az egyszerűsítés mértékének függvényében minőségromláshoz vezethet, azonban ez még a poligonszám 50–70%-kal (rendkívül nagy poligonszámú modellek esetén akár több mint 90%-kal) történő csökkentése esetén sem vezet a modell megjelenésének jelentős romlásához. Ennek ellenére érdemes mind a maximális poligonszámú, mind pedig az egyszerűsített modellt megtartani és kiexportálni (amennyiben később mérések elvégzésére van szükség, ehhez a pontosság növelése érdekében célszerű a teljes poligonszámú modellt használni, ha lehetséges). Ügyeljünk arra, hogy textúrázott modell egyszerűsítését követően a textúrázási folyamatot újra futtatni kell!

A kész modellek a „Reconstruction” fül „Model” gombjára kattintva exportálhatók. A szoftver használata ingyenes, azonban a modellek kiexportálásáért díjat kell fizetni a forrásképek számának és felbontásának függvényében. A forrásképek utáni díjfizetést követően az azonos forrásképek felhasználásával készült további modellek díjmentesen exportálhatók. A kiexportált modellek bármilyen 3D nézetetövel, például a Windows operációs rendszer 3D-megjelenítő szoftverével is megtekinthetők.

## **Összefoglaló**

A fotogrammetria útján történő háromdimenziós rekonstrukció a fényképezőgépek, valamint számítógépes hardverek és szoftverek rohamos fejlődése mellett olyan feltörekvő irány, amely háttérbe szorítani látszik a 3D lézershennerek és strukturáltfény shennerek alkalmazását. A módszer olcsó, gyors, hatékony és bárki által elsajátítható, eredményeképp pedig részletgazdag, fotórealisztikus, mérhető háromdimenziós modellek készíthetők bármilyen objektumról, sőt, akár teljes bűnügyi helyszínekről is. Jelen tanulmány célja, hogy összefoglalja a fotogrammetriai képalkotással kapcsolatos legfontosabb ismereteket és tapasztalatokat, továbbá megfelelő alapot szolgáltatson mind bűnügyi technikusok, mind pedig igazságügyi szakértők számára, hogy a jövőben kiváló minőségű háromdimenziós modelleket készítsenek különböző objektumokról. A modellalkotás bűnügyi célú alkalmazási lehetőségei rendkívül szerteágazók lehetnek. Csupán a legfontosabbakat kiemelve: a helyszínek háromdimenziós rögzítése alkalmas a helyszín aktuális állapotának teljeskörű dokumentálására, különös tekintettel a rejtett részletekre. Használható helyszínrajzként, interaktív háromdimenziós térként abba integrálhatók a helyszínen talált nyomok, elváltozások, valamint az azokkal kapcsolatos szakértői megállapítások, így a modellek kiválóan alkalmasak a helyszín tárgyalótermi interpretálására, továbbá oktatási, képzési célokra, akár a virtuális valóság nyújtotta lehetőségek felhasználásával. A modellek számos igazságügyi szakértői területen

alkalmasak különböző események és cselekmények modellezésére, rekonstruálására. Az egyes objektumok háromdimenziós rögzítése egyrészt képes megőrizni az objektumok eredeti állapotát, másrészt alkalmas roncsolásmentes szakértői vizsgálatok kivitelezésére, az azokon látható nyomok és elváltozások képződési mechanizmusának felderítésére, valamint az azokat képző objektumokkal kapcsolatos megállapítások kialakítására. A fotogrammetriai úton történő háromdimenziós modellalkotás, illetve azok felhasználása tehát a jövő technológiája, amely nem csupán pontos dokumentációt tesz lehetővé, de rendkívül változatos és innovatív módon segítheti a bűncselekmények felderítését.

### **Felhasznált irodalom**

Buck, U., Buße, K., Campana, L., & Schyma, C.: Validation and evaluation of measuring methods for the 3D documentation of external injuries in the field of forensic medicine. *International Journal of Legal Medicine* 2018/132. 551-561. o.

Forrás: <https://doi.org/10.1007/s00414-017-1756-6>

Buck, U., Naether, S., & Thali, M. J.: External body documentation. In *The Virtopsy Approach: 3D Optical and Radiological Scanning and Reconstruction in Forensic Medicine*. CRC Press, 2009a. 51-60. o. ISBN 9780849381782

Buck, U., Naether, S., & Thali, M. J. (). Virtopsy as a multi-tool approach. In *The Virtopsy Approach: 3D Optical and Radiological Scanning and Reconstruction in Forensic Medicine*. CRC Press, 2009b. 51-60. o. ISBN 9780849381782

Buck, U., Naether, S., Braun, M., Bolliger, S., Friederich, H., Jackowski, C., Aghayev, E., Christe, A., Vock, P., Dirnhofer, R. & Thali, M. J.: Application of 3D documentation and geometric reconstruction methods in traffic accident analysis: with high resolution surface scanning, radiological MSCT/MRI scanning and real data based animation. *Forensic Science International* 2007/1. 20-28. o.



Buck, U., Naether, S., Räss, B., Jackowski, C., & Thali, M. J.: Accident or homicide—virtual crime scene reconstruction using 3D methods. *Forensic Science International*, 2013/1-3. 75-84. o.

Forrás: <https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2012.05.015>

Cuerrier-Richer, E.: Missing and murdered indigenous women and girls in Canada: a new population affinity assessment technique to aid in identification using 3D technology. *Forensic Sciences Research* 2022/3. 427-439. o.

Forrás: <https://doi.org/10.1080/20961790.2021.2023417>

Dirnhofer, R., Thali, M. J., Vock, P., Braun, J., & Wirth, J.: 3D surface and body documentation in forensic medicine: 3-D/CAD Photogrammetry merged with 3D radiological scanning. *Journal of Forensic Sciences* 2003/6. JFS2003118.

Forrás: <https://doi.org/10.1520/JFS2003118>

Ebert, L. C., Ptacek, W., Naether, S., Fürst, M., Ross, S., Buck, U., Weber, S. & Thali, M.: Virtobot—a multi-functional robotic system for 3D surface scanning and automatic post mortem biopsy. *The International Journal of Medical Robotics and Computer Assisted Surgery* 2010/1. 18-27. o.

Forrás: <https://doi.org/10.1002/rcs.285>

Ebert, L. C., Ptacek, W., Breitbeck, R., Fürst, M., Kronreif, G., Martinez, R. M., Thali, M. & Flach, P. M.: Virtobot 2.0: the future of automated surface documentation and CT-guided needle placement in forensic medicine. *Forensic Science, Medicine, and Pathology* 2014. 179-186. o.

Forrás: <https://doi.org/10.1007/s12024-013-9520-9>

Ebert, L. C., Flach, P., Schweitzer, W., Leipner, A., Kottner, S., Gascho, D., Thali, M. J. & Breitbeck, R.: Forensic 3D surface documentation at the Institute of Forensic Medicine in Zurich—Workflow and communication pipeline. *Journal of Forensic Radiology and Imaging* 2016/5. 1-7. o.

Forrás: <https://doi.org/10.1016/j.jofri.2015.11.007>

Edelman, G. J. & Aalders, M. C.: Photogrammetry using visible, infrared, hyperspectral and thermal imaging of crime scenes. *Forensic Science International*. 2018. 181-189. o.

Forrás: <https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2018.09.025>

Grabherr, S., Egger, C., Vilarino, R., Campana, L., Jotterand, M., & Dedouit, F.: Modern post-mortem imaging: an update on recent developments. *Forensic Sciences Research* 2017/2. 52-64. o.

Forrás: <https://doi.org/10.1080/20961790.2017.1330738>

Grassberger, M. & Schmid, H.: Die kriminalistische Untersuchungspraxis am Tatort. In: Grassberger, M. & Schmid, H. (szerk.): *Todesermittlung – Befundaufnahme & Spurensicherung – Ein praktischer Leitfaden für Polizei, Juristen und Ärzte*. Springer. Wien, New York, 2009. 221-256. o.

Forrás: <https://doi.org/10.1007/978-3-211-79960-4>

Grassberger, M. & Verhoff, M. A.: Klinisch-forensische Fotodokumentation. In: Grassberger, M., Türk, E. & Yen, K. (szerk.): *Klinisch-forensische Medizin*. Springer. Vienna, 2013. 127-138. o.

Forrás: [https://doi.org/10.1007/978-3-211-99468-9\\_14](https://doi.org/10.1007/978-3-211-99468-9_14)

González-Merino, R., Fraile, A. D., Pérez, J. A. & Sánchez-López, E. M.: Validation of photogrammetry techniques performed on two lead ingots assigned to Linares Historical Heritage. *Procedia Manufacturing* 2017/13. 1405-1412. o.

Forrás: <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2017.09.152>

Hossam, F.: Study the accuracy of digital close range photogrammetry technique software as a measuring tool. *Alexandria Engineering Journal*. 2018. 171-179. o.

Forrás: <https://doi.org/10.1016/j.aej.2018.04.004>

Kingsland, K.: Comparative analysis of digital photogrammetry software for cultural heritage. *Digital Applications in Archaeology and Cultural Heritage* 2020. e00157.

Forrás: <https://doi.org/10.1016/j.daach.2020.e00157>

Koller, S., Ebert, L. C., Martinez, R. M., & Sieberth, T.: Using virtual reality for forensic examinations of injuries. *Forensic Science International*. 2019. 30-35. o.

Forrás: <https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2018.11.006>

Kottner, S., Ebert, L. C., Ampanozi, G., Braun, M., Thali, M. J., Gascho, D., & D'Apuzzo, N.: A mobile, multi camera setup for 3D full body imaging in combination with post-mortem computed tomography procedures. In: D'Apuzzo, N. (szerk.): *Proceedings of 7th International Conference on 3D Body Scanning Technologies*. Lugano, Switzerland, 2016 Nov 30 – Dec 1, Lugano: Hometrica Consulting. 2016. 53-60. o.

Forrás: <https://doi.org/10.15221/16.053>

Kottner, S., Ebert, L. C., Ampanozi, G., Braun, M., Thali, M. J., & Gascho, D. (2017). VirtoScan-a mobile, low-cost photogrammetry setup for fast post-mortem 3D full-body documentations in x-ray computed tomography and autopsy suites. *Forensic Science, Medicine, and Pathology*. 2017. 34-43. o.

Forrás: <https://doi.org/10.1007/s12024-016-9837-2>

Kottner, S., Schulz, M. M., Berger, F., Thali, M., & Gascho, D.: Beyond the visible spectrum—applying 3D multispectral full-body imaging to the VirtoScan system. *Forensic Science, Medicine and Pathology*. 2021. 565-576. o.

Forrás: <https://doi.org/10.1007/s12024-021-00420-x>

Leipner, A., Baumesiter, R., Thali, M. J., Braun, M., Dobler, E. & Ebert, L. C.: Multi-camera system for 3D forensic documentation. *Forensic Science International*, 2016/261, 123-128. o.

Forrás: <https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2016.02.003>

Leipner A., Obertová, Z., Wermuth, M., Thali, M., Ottiker, T. & Sieberth, T.: 3D mug shot – 3D head models from photogrammetry for forensic identification. *Forensic Science International* 2019/300. 6-12. o.

Forrás: <https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2019.04.015>

Metzger, M., Ujvári, Z., & Gárdonyi, G.: A fotogrammetria kriminalisztikai célú alkalmazása: helyszínek, holttestek, tárgyak rekonstrukciója három dimenzióban [Criminal Application of Photogrammetry: Three-Dimensional Reconstruction of Crime Scenes, Human Corpses and Objects]. *Belügyi Szemle* 2020/11. szám. 57-70. o.

Forrás: <https://doi.org/10.38146/BSZ.2020.11.4>

Michienzi, R., Meier, S., Ebert, L. C., Martinez, R. M. & Sieberth, T.: Comparison of forensic photo-documentation to a photogrammetric solution using the multi-camera system “Botscan”. *Forensic Science International*. 2018. 46-52. o.

Forrás: <https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2018.04.012>

Nocerino, E., Menna, F., & Verhoeven, G. J.: Good vibrations? How image stabilisation influences photogrammetry. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences* 2022. 395-400. o.

Forrás: <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLVI-2-W1-2022-395-2022>

Petrétei, D.: Álló- és mozgókép készítése, helyszínvázlat, helyszínrajz. In: Gárdonyi, G. (szerk.): *Módszertani útmutató 1. bűnügyi technikuskok részére*. Nemzeti Közszolgálati Egyetem Rendészettudományi Kar. Budapest, 2014. 25-33. o.

Forrás: <http://hdl.handle.net/20.500.12944/100412>

Petrétei, D.: Háromdimenziós képalkotás a kriminalisztikában. *Belügyi Szemle*, 2016/7-8. 77-86. o.

Forrás: <https://doi.org/10.38146/BSZ.2016.7-8.8>

Petrétei, D.: Nulladik mérföldkő. *Pécsi Határőr Tudományos Közlemények* 2020. 227-234. o.

Petrétei, D.: A kriminalisztikai fényképészet egyes aktuális kérdései. *Magyar Bűnüldöző* 2020/1-2. szám. 12-22. o.

Petrétei, D., Fullár, A., Ujvári, Zs. & Metzger, M.: Innovative and traditional techniques in crime scene reconstruction – a case study. *LILERS*, 2023. (Megjelenés alatt.)

Rahaman, H., Champion, E., & Bekele, M.: From photo to 3D to mixed reality: A complete workflow for cultural heritage visualisation and experience. *Digital Applications in Archaeology and Cultural Heritage*. 2019. e00102.

Forrás: <https://doi.org/10.1016/j.daach.2019.e00102>

Sieberth, T., Dobay, Á., Affolter, R. & Ebert, L.: A toolbox for the rapid prototyping of crime scene reconstructions in virtual reality. *Forensic Science International*. 2019. 1-6. o.

Forrás: <https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2019.110006>

Siebke, I., Campana, L., Ramstein, M., Furtwängler, A., Hafner, A. & Lössch, S.: The application of different 3D-scan-systems and photogrammetry at an excavation – A Neolithic dolmen from Switzerland. *Digital Applications in Archaeology and Cultural Heritage*. 2018. 1-11. o.

Forrás: <https://doi.org/10.1016/j.daach.2018.e00078>

Thali, M. J., Braun, M., Brüscheiler, W. & Dirnhofer, R.: Matching tire tracks on the head using forensic photogrammetry. *Forensic Science International* 2000/1-3. 281-287. o.

Forrás: [https://doi.org/10.1016/S0379-0738\(00\)00234-6](https://doi.org/10.1016/S0379-0738(00)00234-6)

Thali, M. J., Braun, M., Buck, U., Aghayev, E., Jackowski, C., Vock, P., Sonnenschein, M. & Dirnhofer, R.: VIRTOPSY—scientific documentation, reconstruction and animation in forensic: individual and real 3D data based geo-metric approach including optical body/object surface and radiological CT/MRI scanning. *Journal of Forensic Sciences* 2005/2. 428-442. o.

Forrás: <https://doi.org/10.1520/JFS2004290>

Ujvári Zs.: Látens nyomok és anyagmaradványok optikai úton történő felkutatása, kriminalisztikai fényképezése. In: Anti Cs. & Gárdonyi G. (Szerk.): *Krimináltechnikai kézikönyv*. Semmelweis Kiadó. Budapest, 2020. 21-43. o.

Urbanová, P., Hejna, P. & Jurda, M.: Testing photogrammetry-based techniques for three-dimensional surface documentation in forensic pathology. *Forensic Science International*. 2015. 77-86. o.

Ujvári Zsolt – Metzger Máté: A fotogrammetria kriminalisztikai alkalmazása – tudományosan megalapozott módszerek fényképezőgép segítségével történő 3D képrögzítéshez

Forrás: <https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2015.03.005>

Verhoff, M., Gehl, A., Kettner, M., Kreutz, K. & Ramsthaler, F.: Digitale forensische Fotodokumentation. Rechtsmedizin. 2009. 369-381. o.

Forrás: <https://doi.org/10.1007/s00194-009-0626-z>

Villa, C., Flies, M. J. & Jacobsen, C.: Forensic 3D documentation of bodies: Simple and fast procedure for combining CT scanning with external photogrammetry data. Journal of Forensic Radiology and Imaging. 2018. e2-e7.

Forrás: <https://doi.org/10.1016/j.jofri.2017.11.003>

Villa, C. & Jacobsen, C.: The Application of Photogrammetry for Forensic 3D Recording of Crime Scenes, Evidence and People. Essentials of Autopsy Practice. 2019. 1-18. o.

Forrás: [https://doi.org/10.1007/978-3-030-24330-2\\_1](https://doi.org/10.1007/978-3-030-24330-2_1)

#### Felhasznált jogszabályok

13/2012. (VII. 30.) ORFK utasítás a büntetőeljárások keretében lefolytatandó szemlék végrehajtásáról és a bűnügyi technikai tevékenység egy-egy szabályozásáról.

2017. évi XC. törvény a büntetőeljárásról.

100/2018. (VI. 8.) Korm. rendelet a nyomozás és az előkészítő eljárás részletes szabályairól.

12/2018. (VI. 12.) IM rendelet az egyes büntetőeljárás cselekményekre és a büntetőeljárásban részt vevő személyekre vonatkozó szabályokról.

32/2020. (XI. 19.) ORFK utasítás a bűnügyi technikai tevékenységgel kapcsolatban egyes ORFK utasítások módosításáról, valamint hatályon kívül helyezéséről