

Primernost metod za določevanje vpadnega kota streljanja na pločevino¹

Katarina Walland²

Pri ogledih kaznivih dejanj s streljanjem je obvezen del merjenje strelnih poškodb, ki vključuje umestitev strelne poškodbe v prostor (merjenje koordinat) in vpadni kot streljanja. Poleg merjenja vpadnega kota s sondirno palico, ki je najbolj zanesljivo, sta za uporabo primerni tudi uvodna in eliptična metoda, ki imata to prednost, da ju je treba uporabiti, kadar gre za enojno strelno poškodbo. Take poškodbe so pogoste pri streljanju na avtomobil zaradi njegove konstrukcije. V literaturi zasledimo opise teh metod, niso pa preverjene. Zato je bil naš namen preveriti uporabnost obeh metod in njuno natančnost. V pregledanih člankih sta bili metodi preizkušani z različnimi kalibri in tipi krogel nabojev ter ob različnih kotih streljanja. Meritve so opravljali različno izkušeni forenzični strokovnjaki in tudi študenti brez predhodnega znanja o merjenju. Pokazalo se je, da so splošne manjše napake pri manjših vpadnih kotih (do 20°), največje pri vmesnih kotih in potem spet manjše pri kotih blizu pravega kota. Razen pri uvodni metodi, ki pri kotih blizu pravega kota ni uporabna zaradi premajhnega uvodnega področja. Opažen je vzorec napak. Pri uvodni metodi so vpeljali tudi korekcijske faktorje na podlagi trendnih krivulj, ki so rezultate precej popravili in zmanjšali napake merjenj. Metodi smo primerjali pri ujemanjih parametrov (tip orožja, kaliber, vpadni kot streljanja) in zaznali manjše napake merjenja pri uvodni metodi. Nato smo za obe metodi opravili še manjši preizkus in prišli do podobnih ugotovitev kot v pregledanih člankih.

Ključne besede: balistika, rekonstrukcija streljanja, vpadni kot, uvodna (lead-in) metoda, metoda elipse

UDK: 343.983

1 Uvod

Ko je kaznivo dejanje storjeno s streljanjem, je obvezen del ogleda merjenje strelnih poškodb, na podlagi katerih lahko pozneje rekonstruiramo streljanje. V to spada merjenje treh prostorskih koordinat strelne poškodbe, da jo umestimo v prostor, in merjenje kota strelne linije, ki je sestavljen iz dveh komponent, da tako ugotovimo, iz katere smeri in pod kakšnim nagibom se je streljalo. Prva komponenta, in na to komponento se bomo osredotočili v članku, saj je težje določljiva, kaže nagnjenost od ravnine, na kateri je poškodba, ter je med 0° in 90°, druga komponenta pa smer, iz katere je bilo streljano, in je lahko med 0° in 360°. Merimo jih tako, da sondirno palico vstavimo in stabiliziramo skozi strelni kanal poškodbe oziroma skozi dve zaporedni poškodbi istega stre-la. Za eno komponento kota, odvisno od tega, kako leži naša ravnina, na kateri je strelna poškodba, postavimo kotomer vzporedno s tlemi in na izhodišče poškodbe ter s pogledom pravokotno navzdol odčitamo kot, ki ga nato ustrezno ume-

stimo v koordinatni sistem. Za drugo komponento kota predvidno položimo inklinometer na sondirno palico, pri čemer moramo paziti, da s tem ne povzročimo dodatnega nagiba palice, in odčitamo kot. Tovrstno merjenje s sondirno palico se je izkazalo za najbolj zanesljivo (Mattijssen in Kerkhoff, 2016). V primeru dveh strelnih poškodb, povzročenih z istim strelom, je mogoče kot določiti tudi virtualno v ustreznem programu, če smo kraj dogodka posneli s 3D-skenerjem. Težava je, ko imamo le enojno strelno poškodbo, saj takrat sondirne palice ne moremo stabilizirati na ta način. To se pogosto zgodi pri streljanju na avtomobil, kjer zaradi sestave avtomobila (pločevina in na primer trdi materiali motorja, ki jih kroglja naboja ne perforira, ali obratno, polimerni materiali vrat oziroma armature, ki se preveč poškodujejo za meritve) ne pride do uporabne sekundarne poškodbe oziroma strelnega kanala. Zaradi navedenega in težje umestitve vozila v koordinatni sistem so tovrstne meritve strelnih poškodb med zahtevnejšimi, zato nas v takih primerih največkrat kličejo za pomoč (v povprečju se to zgodi enkrat do trikrat letno) kriminalistični tehniki. Namen tega članka je zato preveriti učinkovitost in uporabnost metod za merjenje vpadnega kota na pločevino, kadar imamo samo enojno strelno poškodbo. Obstajata dve metodi, ki sta uporabni tudi na drugih materialih (na primer mavčna plošča ali les), in sicer metoda elipse in »lead-in« metoda, za katero bomo uporabljali preve-

¹ Za usmeritve pri pisanju in lektoriranju članka se zahvaljujem dr. Dorijanu Keržanu.

² Katarina Walland, Oddelek za fizikalne preiskave, Nacionalni forenzični laboratorij, Generalna policijska uprava, Slovenija.
E-pošta: katarina.walland@policija.si

den izraz uvodna metoda. Pregledali smo najnovejše študije, v katerih so preverili njuno uporabo in natančnost merjenja. Primerjali smo rezultate obeh metod za kaliber 9 mm Luger, ki je bil uporabljen pri obeh študijah in je hkrati tudi med najpogosteje uporabljenimi kalibri v tovrstnih incidentih na našem področju. Na koncu smo opravili manjši preizkus za kaliber 9 mm Luger tudi v našem laboratoriju, primerjali rezultate opravljenih meritev z meritvami iz študij in se opredelili glede uporabe metod pri delu.

2 Pregled literature o uvodni in eliptični metodi

Za področje rekonstrukcij streljanja je na voljo veliko literature. Večina literature se omejuje na uporabo prej navedenih metod, niso pa podrobneje opredeljene njihove omejitve in napake. Za potrebe raziskave smo izbrali članke, v katerih so predstavljene študije o merjenju vpadnih kotov na pločevino.

Mattijssen in Kerkhoff (2016) sta opravila primerjavo treh metod na različnih materialih, poleg eliptične in uvodne še metodo viziranja s sondirno palico, ter ugotovila, da je slednja najzanesljivejša, za uporabo pa je primerna le, kadar imamo dve zaporedni strelni poškodbi ene krogle naboja oziroma strelni kanal. V primeru enojne strelne poškodbe te metode ne moremo uporabiti. V tem članku smo se zato osredotočili na dve najnovejši in najbolj podrobni raziskavi, in sicer študijo Liscie in Imrana (2021) ter študijo Liscie in Parka (2021), ki ocenjujeta uporabnost eliptične in uvodne metode. V obeh raziskavah sta tudi uporabila kaliber 9 mm Luger, tako da lahko metodi medsebojno primerjamo.

Pri eliptični metodi strelno poškodbo umestimo v ujema-jočo elipso, ki ji izmerimo malo in veliko os ter nato vpadni kot izračunamo z uporabo trigonometrije, pri uvodni metodi pa sondirno palico naslonimo na začetni, uvodni, del strelne poškodbe ter izmerimo nagib sondirne palice od ravnine poškodbe: ali s prislonom inklinatorja na palico in odčitamo kot ali pa s kotomerom, tako da postavimo izhodišče kotomera na strelno poškodbo in odčitamo kot s pogledom pravokotno na kotomer. Uporaba ustrezne merilne naprave je odvisna od lege ravnine, na kateri je strelna poškodba.

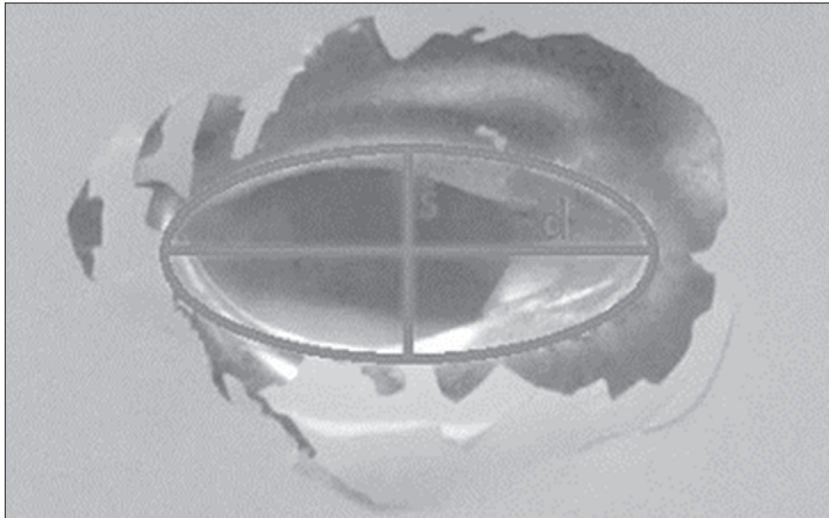
Temeljne ugotovitve člankov so, da ko krogla naboja zadane in penetrira duktilen³ material, kot je pločevina, je oblika poškodovanega področja odvisna od več spremenljivk, kot so material, geometrija in hitrost krogle naboja, material tarče, vpadni kot itd. (Mattijssen in Kerkhoff, 2016).

³ *Duktilnost* je lastnost materiala, da prenese plastično deformacijo, ne da bi se zlomil.

S spremembo vpadnega kota krogle naboja se spremeni tudi oblika strelne poškodbe (Mattijssen in Kerkhoff, 2016). Lastnost strelnih poškodb na duktilnem materialu je, da v primeru velikih hitrosti (pribl. 300–2.000 m/s) in kritičnega kota streljanja nastane prestrelna poškodba, in sicer ustje, ki se prelomi v obliko cvetnih listov na izstopni strani. Glede na stresno mejo materiala se lahko občasno pojavijo cvetni listi tudi na vstopni strani. Krogla lahko naredi tudi ustje in odtrga material zadetka, po navadi v obliki kroga ali ovala (Backman in Goldsmith, 1978; Fossati, 2017). Pri streljanju pod kritičnim kotom se krogla naboja odbije, lastnost materiala pa je, da je vpadni kot manjši od kota odboja, material pa se pod silo in potjo krogle upogne in najgloblji del je skoraj na koncu strelne poškodbe. Oblika odbojne poškodbe je asimetrična in očitno pokaže smer strela. Pri barvani pločevini se lahko pojavi tudi t. i. stisnjena točka (»pinch point«), to je manjša količina barve, ki je še vedno prisotna na točki prvega stika krogle s površino (Haag in Haag, 2011a). Strelne poškodbe so lahko okrogle pri približno pravokotnih kotih streljanja oziroma eliptične ali pretežno eliptične pri manjših vpadnih kotih streljanja (Mattijssen in Kerkhoff, 2016). Na strelne poškodbe vpliva tudi oblika krogle naboja; tako je ovalna oblika krogle naboja bolj nagnjena k odbojem, krogle nabojev z večjim premerom pa potrebujejo večjo hitrost za perforacijo in ustvarijo večjo deformacijo (Burke in Rowe, 1992; Rusinek idr., 2008). Konična oblika krogle naboja lahko povzroči obliko cvetnega lista in duktilno povečanje luknje, raven ali votel vrh krogle naboja pa povzroči odtrganje, luščenje in fragmentacijo materiala (Backman in Goldsmith, 1978; Li in Chen, 2001; Rusinek idr., 2008).

2.1 Metoda elipse

Ta metoda merjenja vpadnega kota izhaja iz metode za merjenje vpadnega kota krvnih kapljic, ki so jo predlagali Balthazard idr. (1939), in temelji na trigonometričnem razmerju stranic v pravokotnem trikotniku. Obliko strelne poškodbe umestimo v primerno elipso (slika 1), ji izmerimo veliko in malo os (širino in dolžino) ter nato izračunamo kot z uporabo trigonometrije: $\alpha = \sin^{-1}(\dot{s}/d)$ (Balthazard idr., 1939; Haag, 2005; Hueske, 2006, Mattijssen in Kerkhoff, 2016).



Slika 1: Ujemajoča elipsa z malo in veliko osjo (širina in dolžina) prek strelne poškodbe

Liscio in Imran (2021) sta metodo eksperimentalno preverila. Postavila sta leseno konstrukcijo z držalom za pločevinasto ploščo, držalo se je lahko nagibalo vertikalno in horizontalni kot je bil vedno pravokoten na ravnino plošče. Debelina pločevine je bila 1,35 mm, kar je nekoliko več od pločevine, iz katerih so današnji avtomobili, to je okrog 0,75 mm. Strelno orožje je bila pištola Glock modela 17 L, ki je bila vpeta v napravo Ransom Rest. Zaklep Glocka je bil postavljen paralelno z ravnino tal z uporabo digitalnega inklinometra Fowler model Xtra-Value Digi-Level 54-422-444-0, z natančnostjo $\pm 2^\circ$. Ransom Rest je bil postavljen 2,7 m stran od držala plošče pločevine. Za merjenje hitrosti krogel nabojev je bil uporabljen kronograf PVM2008, postavljen pred Ransom Restom. Vpadni koti strelav so bili 90° , 75° , 60° , 45° , 30° , 20° in 14° . Z eno vrsto streliva je bilo za vsak kot ustreljeno štirikrat v navpični smeri s pomikom pištole navzdol, za vsako spremembo kota je bila plošča premaknjena horizontalno. Vsak strel je bil ustrezno označen. Uporabila sta šest vrst streliva, vse kalibra 9 mm Luger, vendar z različnimi krogli nabojev:

– proizvajalec Remington, masa krogle 115 grainov (7,45 g), tip krogle polnooplaščena (FMJ), krajša oznaka v nadaljevanju je L;

– proizvajalec RUAG Nemčija, tip sintox, masa krogle 95 grainov (6,16 g), tip krogle z votlim vrhom s plastično konico, tip krogle Action 5, krajša oznaka v nadaljevanju je DAG;

– proizvajalec Winchester Ranger, masa krogle 90 grainov (5,83 g), tip krogle frangible,⁵ krajša oznaka v nadaljevanju je RA;

– proizvajalec Hornady, masa krogle 147 grainov (9,53 g), tip krogle z votlim vrhom XTP, krajša oznaka v nadaljevanju je H;

– proizvajalec Samson, masa krogle 158 grainov (10,24 g), tip krogle polnooplaščena, krajša oznaka v nadaljevanju je 9S;

– proizvajalec Remington, masa krogle 115 grainov (7,45 g), tip krogle opplaščena z votlim vrhom, krajša oznaka v nadaljevanju je R9.

V tabelo sta zbrala podatke: ime in tip streliva, hitrost krogel, realni in izračunani vpadni kot. Vsak strel je bil fotografiran s fotoaparatom Nikon D5100, ki je bil pozicioniran pravokotno na strelne poškodbe. Za najustreznejšo elipso in merjenje širine ter dolžine elipse prek strelne poškodbe so sodelujoči merilci v študiji uporabili Ellipser App (2016) v programu CloudCompare (2.8.1).

Osem zunanjih sodelavcev (šest forenzičnih izvedencev z izkušnjami od 5 let do 40 let, ne nujno v balistiki, in dva študenta forenzične znanosti brez predhodnih tovrstnih izkušenj) je po zgoraj opisanem postopku metode elipse merilo 42 strelnih poškodb – eno izbrano (izbrali so jo pripravljavci študije) strelno poškodbo za sedem kotov in za šest vrst streliva. Oznake z realnim kotom so bile zanje odstranjene.

⁴ Vse slike in ilustracije so bile narejene na podlagi preizkusnega streljanja v Nacionalnem forenzičnem laboratoriju.

⁵ »Frangible« krogla naboja je narejena iz mešanice kovin v prahu s postopkom stiskanja, sintranja ipd. Glavna lastnost tovrstnih krogel je, da ob zadetku v trdo površino razpadejo na drobne delce in s tem zmanjšajo možnost odboja celotne krogel ali delcev (Haag, 2005).

2.1.1 Rezultati metode elipse

Rezultate meritev sta Liscio in Imran (2021) predstavila z grafi absolutnih napak za vsak dejanski kot streljanja in za vsako vrsto streliva. Razvidno je, da se pri strelivu tipa L, H in 9S absolutne napake najprej večajo do dejanskega vpadnega kota med 45° in 60°, nato pa se absolutne napake ponovno začnejo manjšati do dejanskega vpadnega kota 90°. Pri drugih vrstah streliva RA, DAG in R9 se zazna podobno gibanje absolutnih napak, vendar ne tako izrazito. Raztrosi absolutnih napak so v nekaterih primerih precejšnji, tudi za več kot 30°, na primer za strelivo RA in vpadni kot 20° ter strelivo R9 in vpadni kot 14°, kar avtorja pripisujeta netipičnim strelnim poškodbam pri majhnih vpadnih kotih (odboj ali poškodba v obliki S) v kombinaciji z neizkušenimi izvajalci meritev. Splošno velja, da so bile absolutne napake manjše pri manjših vpadnih kotih in so se večale z večjimi vpadnimi koti, od vpadnega kota 45° ali 60° pa so se začele absolutne napake ponovno manjšati. Z grafov realnih napak za vsak dejanski vpadni kot streljanja je mogoče opaziti, da so bili skoraj vsi izmerjeni koti podcenjeni, se pravi manjši od dejanskih, razen za strelivo RA, DAG in R9 pri vpadnih kotih 20° in 14°. Za eno izmed najbolj uporabljenih vrst streliva pri nas, kaliber 9 mm Luger, tip krogle FMJ, masa krogle 115 gr (v študiji tip L), je distribucija absolutnih napak predstavljena v tabeli 1.

Tabela 1: Distribucija absolutnih napak pri dejanskih vpadnih kotih streljanja za strelivo tipa L

Dejanski vpadni kot	Distribucija absolutnih napak
14°	2,5–7,5°
20°	0,8–10,8°
30°	10,4–15,8°
45°	17,1–28,3°
60°	18,3–37,5°
75°	8,3–14,9°
90°	4,2–15,7°

Ali bo krogla naboja pločevino perforirala ali se od nje odbila, je odvisno od lastnosti krogle naboja, hitrosti in vpadnega kota. Vseh šest vrst streliva je perforiralo pločevino pri kotih 30° ali več. Za strelivo L, H in 9S je bil popolni odboj pri kotih 20° in 14°, to pomeni, da ima tovrstno strelivo kritični kot med 20° in 30°, kar sovпада tudi z njihovimi hitrostmi: strelivo oznake L je imelo izmerjeno hitrost 355–373 m/s, strelivo oznake DAG 441–458 m/s, strelivo oznake RA 443–463 m/s, strelivo oznake H 305–328 m/s, strelivo oznake 9S 292–296 m/s in strelivo oznake R9 407–424 m/s.

Strelivo RA je perforiralo pri vseh vpadnih kotih, kar sovпада z njegovo hitrostjo. »Frangible« krogle so narejene

tako, da razpadejo po zadetku v trdo površino, po navadi pa ne razpadejo po zadetku v material z nizko togostjo. Pri strelivu DAG s trdo HP-konico so bile strelne poškodbe po videzu perforacije tudi pri manjših vpadnih kotih. Pri pregledu visokohitrostnega posnetka pri naklonu strela 14° so opazili, da se krogla ustavi in pade proti začetku zadetka ter ustvari poškodbo v obliki črke S. Tudi pri strelivu R9 so opazili, da je krogla pri kotih 20° in 14° delno penetrirala, ni pa šla skozi pločevino. Pri trganju pločevine je izgubila precej hitrosti in prav tako padla proti začetku poškodbe. Pri strelivu DAG in R9 gre pri obeh za strelivo s kroglo z votlo konico, ki ima razširni učinek, v kombinaciji z nizko maso in veliko hitrostjo, podobno tisti od streliva RA, ampak brez možnosti fragmentacije ob zadetku.

V študiji predstavlja omejitev uporabljena popolnoma ravna plošča pločevine, saj je na avtomobilih pločevina večinoma ukrivljena. Kljub uporabi digitalnega merilnika nagiba na zaklepu je lahko prišlo tudi do manjše napake pri položaju cevi orožja. Mogoča je tudi pristranskost glede na izkušnje sodelujočih. Neizkušenost sodelujočih je vplivala na pravilno presojo predvsem netipičnih poškodb pri manjših kotih streljanja. Prav tako je lahko povečala napake pri tipičnih poškodbah odbojev zaradi nepoznavanja lastnosti odbojne poškodbe. Omejitev študije je bila tudi pri številu vzorcev, kjer je bilo presojanih 42 strelnih poškodb, nobene strelne poškodbe isti sodelujoči ni presojal dvakrat in izmerjen je bil samo en strel na en vpadni kot. Za potrditev, ali da uporaba eliptične metode boljše rezultate pri kotih, manjših od 30°, in kotu 90°, bi morali opraviti več strel in strel presojati večkrat. Upoštevati je treba tudi, da je bilo uporabljeno orožje Glock 17L, ki ima večjo izstopno hitrost izstrelkov od ostalih polavtomatskih pištol kalibra 9 mm Luger, ter debelino pločevine, ki je bila 1,35 mm, v primerjavi z debelino 0,75 mm, iz katere je izdelana karoserija modernih avtomobilov. Večja hitrost krogel nabojev pri kontaktu z upogljivim materialom zadetka ima za posledico manjšo deformacijo zadetka, po čemer sklepamo, da bodo pri drugih polavtomatskih pištolah s krajšo cevjo in posledično z manjšo izstopno hitrostjo krogel nabojev meritve zadetkov imele večjo celotno napako in verjetno večja odstopanja napak. Debelejši material zadetka ima daljši kontakt s kroglo naboja, kar bolj zmanjša hitrost krogle kot tanjši material in zato povzroči večjo deformacijo materiala zadetka. Sklepamo lahko, da lahko strel skozi pločevino debeline 0,75 mm povzročijo odtise strel z manjšo napako kot v tej študiji. Obe možnosti zahtevata več raziskav ter da zajemata tanjše pločevine in različna orožja. Kljub tem omejitvam se vzorec kvadratnih napak lahko upošteva na terenu, če je bila na kraju kaznivega dejanja samo enojna poškodba streljanja ter uporabljeno orožje Glock 17 L, podobna debelina pločevine in strelivo tipa L, H ali 9S. Ne glede na debelino pločevine, če je razmerje debeline pločevine s premerom

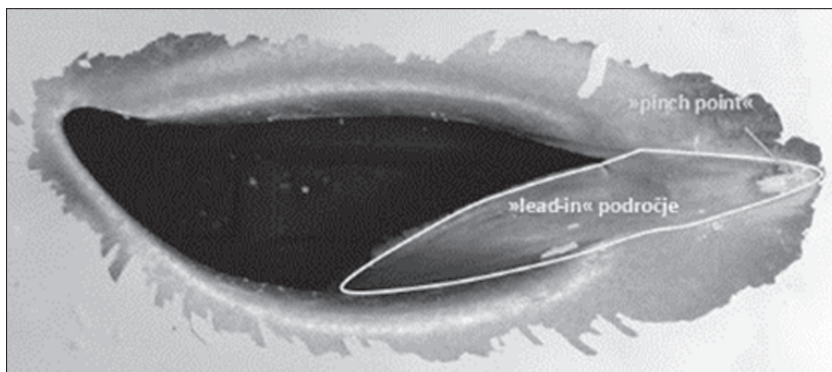
krogla naboja manjše od 0,3, mora presojevalec pričakovati ukrivljanje kot primarni porušitveni mehanizem. Izkušeni ocenjevalec naj ima v mislih, da je izračunani kot najverjetneje podcenjen. Za koliko stopinj je podcenjen, je še neznano in zahteva nadaljnje študije z večjim številom vzorcev.

2.2 Uvodna metoda

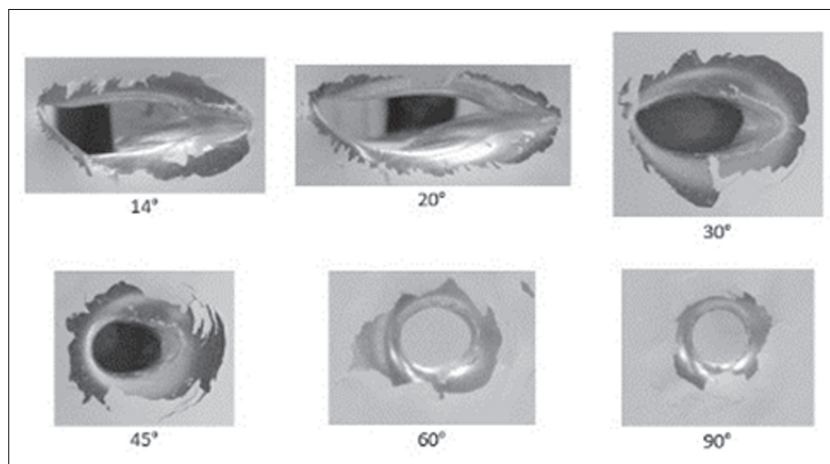
Uvodno področje je definirano kot proga na strelni poškodbi (slika 2), ki je nastala kot posledica začetne interakcije oziroma obrisa krogle naboja na materialu zadetka in jo po navadi najdemo pri manjših vpadnih kotih streljanja (Association of Firearm and Tool Mark Examiners, 2013).

Na pločevini se ta defekt pojavi znotraj eliptične vdolbine kot posledica začetnega udarca in motnje krogle ter pomaga ugotoviti smer streljanja. Za pobarvane pločevine je začetna točka lahko identificirana kot stisnjena točka znotraj uvodnega področja (Liscio in Park, 2021). Ta opazni znak nastane zaradi začetnega kontakta krogle naboja na barvno pločevino (Association of Firearm and Tool Mark Examiners, 2013). Konec uvodnega področja je rob, kjer krogla perforira material (Liscio in Park, 2021).

Raznovrstnost strelnih poškodb pri različnih vpadnih kotih streljanja na pločevino je prikazana na sliki 3.



Slika 2: Označeno uvodno (»lead-in«) področje in stisnjena točka (»pinch point«) na strelni poškodbi



Slika 3: Primeri strelnih poškodb na pločevini: zgornja vrstica od leve proti desni, streljano pod kotom 14°, 20° in 30°, spodnja vrstica od leve proti desni, streljano po kotu 45°, 60° in 90°, smer streljanja je od desne proti levi. Pri kotu 60° in 90° uvodno področje ni izrazito in ni primerno za merjenje, pri drugih kotih pa je lahko prepoznavno.

Pri odbojnih poškodbah, ki nastanejo pri manjših kotih, roba ni mogoče enostavno identificirati, niti ni definiran v literaturi (Gardner in Bevel, 2009; Haag in Haag, 2011b; Mattijssen in Kerkhoff, 2016). Od točke zadetka uvodno področje prehaja in postane plitvejšo ter širše, ko se krogla deformira in nato odbije od plošče (Liscio in Park, 2021). V študiji, ki sta jo izvedla Liscio in Park (2021), je točka prehoda predstavljena kot točka, na kateri se kot globine od uvodnega področja spremeni za več kot 0,5°, kar pomaga identificirati končno mejo za uvodno področje na odbojnih poškodbah. Ta točka je na presečni črti, ki poteka skozi središče zadetka krogle in sledi poti krogle naboja.

Postopek merjenja pri uvodni metodi poteka tako, da prislonimo sondirno palico ob uvodno področje strelne poškodbe in nato izmerimo vpadni kot z digitalnim merilnikom nagiba, tako da ga prislonimo na sondirno palico (Association of Firearm and Tool Mark Examiners, 2013; Haag, 2008). Liscio in Park (2021) sta ugotovila, da so uvodna področja po navadi odsotna pri velikih vpadnih kotih. Pri vpadnih kotih med 70° in 90° so luknje pretežno okrogle in so si zelo podobne. Navadno nimajo sprejemljivega uvodnega področja za analizo, ker krogla naboja perforira material tam, kjer naredi začetni kontakt. Zato mora biti za uporabo metode definirana minimalna velikost. Običajno je tudi, da manjši je vpadni kot, daljše bo uvodno področje. V prejšnjih raziskavah se je ta metoda, še zlasti pri pločevinah, izkazala za bolj natančno od sondiranja s sondirnimi palicami pri manjših vpadnih kotih (Haag in Haag, 2011b; Mattijssen in Kerkhoff, 2016).

Liscio in Park (2021) sta eksperimentalno preverila metodo s petimi različnimi kalibri, vsak kaliber z dvema tipoma streliva in drugim orožjem:

– kaliber .223 Remington, naboji proizvajalca American Eagle Federal, s polnooplaščenimi krogli z maso 55 grainov (3,56 g), uporabljeno orožje puška Heckler Koch 416, krajša oznaka je AE .223;

– kaliber .223 Remington, naboji tipa Ball, s polnooplaščeno kroglo tipa M193, mase 55 grainov (3,56 g), uporabljeno orožje puška Heckler Koch 416, krajša oznaka je Ball .223;

– kaliber .22 Long Rifle, naboji proizvajalca Cascade Cartridges, Inc., s svinčeno univerzalno kroglo, standardne hitrosti, mase 40 grainov (2,59 g), uporabljeno orožje pištola Ruger MK III 22/45, krajša oznaka je CCI .22;

– kaliber .22 Long Rifle, naboji proizvajalca Remington, krogla tipa hyper velocity, yellow jacket, z votlo konico, mase 33 grainov (2,14 g), uporabljeno orožje pištola Ruger MK III 22/45, krajša oznaka je REM .22;

– kaliber 9 x 19 mm, naboji proizvajalca American Eagle Federal, s polnooplaščenimi krogli mase 115 grainov (7,45 g), uporabljeno orožje pištola Glock 17, krajša oznaka je AE 9 mm;

– kaliber 9 x 19 mm, naboji proizvajalca Samson, s polnooplaščenimi krogli mase 158 grainov (10,24 g), nižje hitrosti, uporabljeno orožje pištola Glock 17, krajša oznaka je SAM 9 mm;

– kaliber .40 S&W, naboji proizvajalca Winchester Ranger, s polnooplaščenimi krogli mase 180 grainov (11,66 g), uporabljeno orožje pištola Glock 22, krajša oznaka je Ranger .40;

– kaliber .40 S&W, naboji proizvajalca Winchester, s polnooplaščenimi krogli z ravnim vrhom, mase 165 grainov (10,69 g), uporabljeno orožje pištola Glock 22, krajša oznaka je Flat nose .40;

– kaliber .45 ACP, naboji proizvajalca American Eagle Federal, s polnooplaščenimi krogli mase 230 grainov (14,90 g), uporabljeno orožje pištola Glock 21, krajša oznaka je AE .45;

– kaliber .45 ACP, naboji proizvajalca Winchester, z oplaščenimi krogli z votlim vrhom, mase 230 grainov (14,90 g), uporabljeno orožje pištola Glock 21, krajša oznaka je Win .45.

Z vsakim orožjem sta streljala trikrat zapored za devet različnih znanih vpadnih kotov, od 90° navzdol po 10° oziroma 6° do odboja (90°, 80°, 70°, 60°, 50°, 40°, 30°, 20° in 14°). Izstreljenih je bilo približno 27 streliv iz vsakega orožja in 163 za vseh pet orožij.

Uporabila sta ravne, barvane, A1011 CS tip B, jeklene plošče dimenzij 48 x 48 cm in 30,5 x 30,5 cm z enotno debelino 1,35 mm. Plošče so bile pritrjene na lesen okvir, z lesenim okvirjem pa v lesenem stojalu, ki je omogočal rotiranje plošč za primeren vpadni kot streljanja. Stojalo je bilo postavljeno približno 2,7 m stran od mize, na kateri je bilo pritrjeno orožje. Razdalja od ustja cevi do plošč se je spreminjala odvisno od tipa uporabljenega orožja, vedno pa je bila daljša od dveh metrov, tako da je bil vedno zanemarljiv učinek parabolične poti krogle naboja, ki se pojavi pri daljših razdaljah. Postopek in oprema vpetja orožja ter dokumentiranje streljanja sta bila enaka kot pri eliptični metodi. Strelne poškodbe, ki niso imele uvodnega področja oziroma je bilo to krajše od 3 mm, so bile odstranjene iz vzorcev za raziskavo, ker so se izkazale kot premalo stabilne in z večjim razponom napak. Na koncu je ostalo 162 primernih strelnih poškodb za analizo. Večina strelnih poškodb z znanimi koti med 60° in 90° je bila izključenih, razen nekaterih 60-stopinjskih poškodb, ki so imele uvodna področja daljša od 3 mm.

Na podlagi prejšnje študije Mattijssena in Kerkhoffa (2016) ter lastnih izkušenj sta avtorja predlagala merjenje po uvodni metodi po naslednjem postopku (slika 4):

1. Preverjanje strelne poškodbe in ugotavljanje, ali obstaja očitno uvodno področje. Če ga ni, metoda ni ustrezna za analizo.

2. Če obstaja majhno uvodno področje, se velikost izmeri s kljunastim merilom. Poškodbe, manjše od treh milimetrov, se ne upoštevajo.

3. Sledi določitev približne velikosti luknje in kateri premer sondirne palice je bolj primeren za uporabo. Največkrat je za kalibre 9 mm in več primernejša sondirna palica s premerom 6 mm.

4. Konec sondirne palice se postavi na uvodno področje in s prsti rahlo pritisne, da se stabilizira sondirna palica.

5. Sondirna palica mora biti poravnana približno vzporedno s potjo krogle naboja. To se preveri, tako da se sondirna palica premika z ene strani na drugo, relativno na uvodno področje.

6. Nato se z eno roko zavaruje konec sondirne palice, z drugo roko pa rahlo pritisne na uvodno področje. Položaj sondirne palice je pogosto subjektiven in naj bo preverjen s premikanjem sondirne palice naprej in nazaj od površine plošče.

7. Ko je sondirna palica zavarovana, se izmerijo relativni koti z digitalnim merilnikom nagiba, s protractorjem po fotografski metodi ali z drugo napravo.

položi sondirna palica na sprednji del uvodnega področja, s premikom konice sondirne palice naprej v območje tranzicije pa se pojavi majhna vrzel med njo in strelno poškodbo. Empirični test je pokazal, da se lahko tranzicija identificira tudi samo s spremembo kota za $0,5^\circ$ od začetnega položaja. Z zagotovitvijo maksimalnega kontakta med sondirno palico in površino uvodnega področja lahko izmerjeni kot bolje določi pravi naklon uvodnega področja.

2.2.1 Rezultati uvodne metode

Pri večini meritev vpadnih kotov je trend, da manjši je vpadni kot, manjša je napaka, razen za kaliber .223. Večina merjenih vpadnih kotov je podcenjenih. Pri večjih vpadnih kotih, 50° in več, se pokaže večja variabilnost napak. Verjetno je to posledica manjšega področja, ker je takrat težje držati sondirno palico stabilno. Na primer, pri znanem kotu 50° je povprečna absolutna napaka za strelivo 9 mm AE približno 5° , za strelivo CCI pa približno 23° , kar sovпада z velikostjo uvodnega področja. Večinoma se absolutne napake večajo z večjim vpadnim kotom od približno 7° do 60° za vse



Slika 4: Prikaz merjenja vpadnega kota po uvodni metodi pri našem preizkusu, v katerem smo upoštevali smernice za merjenje iz študije Liscia in Parka (2021)

Plošče so bile položene na ravno površino za zagotovitev stabilnosti. Za merjenje deviacije plošče od horizontalne ravnine je bil uporabljen digitalni inklinometer Mastercraft ($\pm 0,2^\circ$ natančnosti). Meritve je ločeno in neodvisno izvedlo 15 sodelujočih. Realnih vpadnih kotov sodelujoči niso poznali. Upoštevali so deviacijo plošče od horizontalne ravnine. Pri merjenju kotov pri odboju so bili sodelujoči inštruirani za prepoznavo točke prehoda. To se lahko naredi tako, da se

tipe streliva, razen za .223. Podoben trend sta ugotovila tudi Mattijssen in Kerkhoff (2016) pri uporabi te metode za strelivo kalibra 9 mm proizvajalca Sellier & Bellot. To so si razlagali z manjšo površino uvodnega področja, kot je bilo ugotovljeno tudi s to študijo. Glede na ta opažanja so preiskovalci tudi eksperimentalno poskusili in določili, da pri uvodnem področju, manjšem od 3 mm, sondirna palica ni dovolj stabilna, da bi zanesljivo izmerili kot, in da so posledično variacije napak

prevelike. Velika variacija napak pri vseh kotih se je pojavila pri meritvah za strelivo .223 AE, zato ta metoda ni primerena za tovrstna streliva. Te napake in tudi trend, da so napake večje pri manjših kotih (obratno kot pri drugih kalibrjih), so lahko posledica tega, ker ima strelivo kalibra .223 večjo hitrost in koničasto obliko kroglice, zato je območje strelne poškodbe manjše in je potrebna ožja sondirna palica. Lažja palica in težje dostopno uvodno območje prispevata k omenjenim napakam za ta kaliber. V primerjavi z drugimi vrstami streliva ima strelivo .22 CCI splošno največjo absolutno napako pri vseh kotih. Trendna črta je pozitivno parabolna, kakršne pri drugih vrstah streliva ne najdemo. To je lahko zaradi tega, ker so med 20° in 60° vse strelne poškodbe odboji, za katere je sondirno palico težje stabilizirati. Bolj subjektivna je tudi določitev uvodnega področja.

Po pregledu vseh napak, ki se razlikujejo glede na znamko in kaliber streliva, se lahko sklepa, da je formacija uvodnega področja odvisna od tega, kako določena krogla naboja deluje na pločevino. Obstoj predvidljivih vzorcev napak je bil ugotovljen tudi v študiji Liscie in Imrana (2021) z uporabo eliptične metode.

Za eno izmed najbolj uporabljenih vrst streliva v našem prostoru, to je kaliber 9 mm Luger, tip kroglice FMJ, masa kroglice 115 gr (v študiji tip AE), je distribucija absolutnih napak predstavljena v tabeli 2.

Tabela 2: Distribucija absolutnih napak pri dejanskih vpadnih kotih streljanja za strelivo tipa AE

Dejanski vpadni kot	Distribucija absolutnih napak
14°	0–6,5°
20°	0–7°
30°	0–6,5°
40°	0–10°
50°	0–18°
60° in več	/

* Pri kotu 60° in več je bilo uvodno področje manjše od 3 mm in zato neprimereno za merjenje vpadnih kotov.

Nadalje Liscio in Park (2021) razvijeta korekcijo za strelivo .22 CCI na podlagi s polinomom prilagajajoče trendne krivulje v grafu izmerjeni kot-znani kot. Napake meritev so se zmanjšale za od 7,8° do 22,8° oziroma nobena napaka posameznega kota po korekciji ni bila večja kot 5°. Razpon napak pri strelivu 9 mm SAM je bil od 1,5° do 9,0°, napaka posameznega kota po korekciji pa ne več kot 1,5°. Za vseh deset vrst streliva so bili korekcijski faktorji različni, ampak učinkoviti pri zmanjšanju napak in povečanju natančnosti uvodne metode.

Študija je omejena na strelne poškodbe z uporabljenimi vrstami streliva. Avtorja predlagata nadaljnje študije za identifikiranje obnašanja krogel nabojev drugih vrst streliva in orožja. Nadaljnja raziskava naj se fokusira tudi na različno dimenzijo pločevine. Treba se je zavedati, da ta metoda zahteva pritisk na poškodbo, posledica tega pa je tudi poškodba strelne poškodbe, če je material preveč upogljiv in se ne dela previdno. Uporaba ravne plošče v študiji ni reprezentativna za vse primere na terenu, ker ima večina avtomobilov ukrivljene površine pločevine. Omejitve metode so tudi človeške napake in subjektivnost ter napake materiala. Tako lahko prejšnje strelne poškodbe na ploščah vplivajo na strukturo materiala ter posledično na naslednje strelne poškodbe in različna uvodna področja. Glede tega so potrebne nadaljnje raziskave, so pa že zdaj vidni vzorci napak pri merjenju. Identifikacija trendnih črt za napake pomeni možnost korekcije merjenega kota za določitev pravega vpadnega kota. Z opazovanjem delovanja te metode pri specifični vrsti streliva se lahko rekonstrukcija streljanja opravi natančneje, če se vključijo ta spoznanja.

3 Primerjava metod

Primerjali smo realne in absolutne napake pri študijah za obe opisani metodi za primerljivo strelivo: kaliber 9 mm Luger, krogla naboja tipa FMJ, mase 115 grainov, pri čemer je razlika samo v proizvajalcih, in sicer American Eagle Federal pri uvodni metodi in Remington pri eliptični metodi. Pri eliptični metodi je bila uporabljena polavtomatska pištola znamke Glock in modela 17L, ki ima daljšo cev in posledično nekoliko večjo izstopno hitrost krogel nabojev v primerjavi z modelom 17, ki je bil uporabljen pri uvodni metodi. Primerjavo smo opravili samo do realnega vpadnega kota 50°, kajti pri uvodni metodi je nad tem kotom uvodno področje za merjenje premajhno in ni primerno za uporabo.

Pri obeh metodah opazimo trend, da se absolutne napake večajo z večjim vpadnim kotom, hkrati se večja tudi razpon napak pri posameznem kotu. Vsi izmerjeni koti pri eliptični metodi so podcenjeni, pri uvodni metodi pa je težnja k podcenjenim kotom. Pri vpadnih kotih, pod katerimi se je streljalo pri obeh študijah (14°, 20°, 30°), opazimo, da je pri kotu 14° absolutna napaka skoraj enaka, približno do 7°. Realna napaka pa niha pri uvodni metodi približno od +6° do -3°, pri eliptični pa približno od -3° do -6°. Pri vpadnem kotu streljanja 20° je absolutna napaka pri uvodni metodi do približno 7°, realna se giblje približno od +2° do -7°, pri eliptični metodi pa je absolutna do približno 11°, realna pa približno med -7° in -11°. Pri vpadnem kotu streljanja 30° je absolutna napaka pri uvodni metodi do približno 7°, realna se giblje približno od +4° do -7°, pri eliptični metodi pa je absolutna do približno 15°, realna pa približno med -11° in -15°. Pri obeh metodah

je pri kotih 50° oziroma 60° največja absolutna napaka, pri čemer je pri uvodni metodi približno do 18°, pri eliptični pa kar do približno 37°. Nato se pri večjih kotih pri eliptični metodi absolutna napaka precej zmanjša do približno 16°. Uvodna metoda pa pri večjih kotih ni več primerna za uporabo.

Podoben trend napak za uvodno metodo sta ugotovila tudi Mattijssen in Kerkhoff (2016), medtem ko eliptične metode za pločevino niso uporabili, ker nekateri preiskovalci niso mogli določiti primerne eliptične oblike zaradi popačenih strelnih poškodb. Ker so vsi raziskovalci ugotovili napake merjenja in se jim ni mogoče izogniti, bi se jim bilo smiselno posvetiti v nadaljnjih študijah in določiti korekcijske faktorje.

4 Preizkus

Metodi smo nato testirali tudi v našem laboratoriju. Poskusili smo se čim bolj približati načinu preizkusov avtorjev prej opisanih študij. Uporabili smo pištolo znamke Glock, model 17 in kaliber 9 mm Luger. Uporabljeno strelivo je bilo kalibra 9 mm Luger, znamke Fiocchi, s kroglo naboja tipa

FMJ (polnooplašena) in maso 115 grainov (7,45 g). Po konstrukcijskih lastnostih se strelivo ujema s tistim iz študije, za katerega smo naredili primerjavo metod. Pištolo smo postavili na razdaljo približno 2,7 m od plošče streljanja. Uporabljeni plošči sta bili dimenzij 300 x 300 mm, iz pocinkane pločevine in pobarvani z belim lakom, debelina plošč je bila 0,85 mm. Ploščo smo vertikalno vpeli v kovinsko stojalo in spreminjali horizontalni kot. Prednost take postavitve je, da pri pištoli ni pomembno, da je popolnoma v ravnini, slabost pa, da priprava ustreznega horizontalnega kota plošče vzame več časa in truda. Ker je bila razdalja med ploščo in pištolo kratka, menimo, da je parabolni let krogle v tem delu še zanemarljiv. Strele smo opravili pod koti 14°, 20°, 30°, 45°, 60° in 90°. Strelne poškodbe so razvidne na sliki 3. Nobena poškodba ni bila odbojna.

Nato smo izmerili vpadne kote strelnih poškodb po zgoraj opisanih postopkih za uvodno in eliptično metodo. Pri eliptični metodi smo elipso risali prek fotografije, ki smo jo posneli s fotoaparatom znamke Nikon Coolpix P7100. Fotografijo je treba posneti čim bolj pravokotno nad poškodbo. Elipso prek poškodb smo risali s programom Slikar, širino in dolžino pa izmerili z ravnilom oziroma kljunastim

Tabela 3: Rezultati meritev vpadnih kotov po eliptični metodi neposredno na strelno poškodbo in prek fotografije, rezultati meritve uporabnega uvodnega področja in vpadnih kotov z uvodno metodo

Kot streljanja	Kot, izmerjen po metodi elipse neposredno na poškodbi	Kot, izmerjen po metodi elipse prek fotografije	Uporabno uvodno področje	Kot, izmerjen po uvodni metodi
14°	$\sin^{-1} \frac{13,1}{51,3} = 14,8^\circ$	$\sin^{-1} \frac{2,7}{9,9} = 15,8^\circ$	14 mm	16,5°
20°	$\sin^{-1} \frac{16}{51} = 18,3^\circ$	$\sin^{-1} \frac{2,3}{7,7} = 17,4^\circ$	15 mm	17,6°
30°	$\sin^{-1} \frac{11,8}{27,2} = 25,7^\circ$	$\sin^{-1} \frac{2,5}{5,8} = 25,5^\circ$	8,2 mm	25,3°
45°	$\sin^{-1} \frac{10,5}{17} = 38,1^\circ$	$\sin^{-1} \frac{2,5}{3,8} = 41,1^\circ$	4,8 mm	35,5°
60°	$\sin^{-1} \frac{9,9}{12,3} = 53,6^\circ$	$\sin^{-1} \frac{2,4}{3,1} = 50,7^\circ$	1,5 mm	/
90°	$\sin^{-1} \frac{9,1}{9,2} = 81,5^\circ$	$\sin^{-1} \frac{2,3}{2,3} = 90^\circ$	/	/

merilom kar prek ekrana na računalniku. Pomembno je razmerje med širino in dolžino, ki pa ga s skladnim večanjem in manjšanjem fotografije ne izgubimo. Da bi videli, ali je metoda uporabna neposredno na terenu, smo poskusili tudi izmeriti dolžino in širino imaginarne elipse neposredno na strelnih poškodbah z digitalnim kljunastim merilom znamke BOCHEM Instrumente GmbH tako, da smo za dolžino vzeli poškodbo od začetka vidnega prvega stika krogle s ploščo do konca luknje, pri širini pa najširši del poškodbe, ki je približno na sredini dolžine elipse. Pri merjenju širine smo vzeli predel poškodbe, tik preden se pločevina najbolj zvije in nato pretrga (slika 1). Pri uvodni metodi smo uporabili sondirno palico širine 6,5 mm in digitalni merilnik nagiba (inklinometer) za merjenje vpadnega kota znamke Mitutoyo Pro360. Rezultati meritev so zbrani v tabeli 3.

Pri pregledu rezultatov opazimo podoben trend, kot sta ga zaznala tudi Liscio in Imran (2021) ter Liscio in Park (2021), in sicer so vsi izmerjeni koti podcenjeni, razen pri kotu 14°. Absolutne napake se načeloma večajo z večjim vpadnim kotom. V našem primeru se je za natančnejšo izkazala eliptična metoda, vendar pa se napake niso bistveno razlikovale.

Omejitve našega preizkusa so podobne kot v obravnavanih raziskavah in nekatere dodatne. Uporabljena pločevina ni ukrivljena in s tem ni reprezentativna avtomobilski, uporaba samo ene vrste streliva, subjektivnost merjenja in meritve, ki jih opravi samo en merilec. Uporabljena pločevina je bila tanjša od tiste iz študij in za tanjšo se pričakujejo manjše napake. Avtorji so pri eliptični metodi uporabili pištolo z daljšo cevjo, kar pomeni večjo hitrost izstrelkov in manjšo pričakovano napako. Pri napaki kotov dopuščamo tudi možnost, da plošča ni bila postavljena točno na kot streljanja, ocenjujemo pa, da ta napaka ni večja od $\pm 3^\circ$. Poleg že omenjene ugotovitve avtorjev opisanih študij menimo, da je predvsem eliptična metoda bolj subjektivna. Težava je še izrazitejša pri netipični strelni poškodbi, kot sta bili poškodbi pri vpadnih kotih 14° in 20° , in sicer poškodba v obliki črke S. Take poškodbe niso simetrične in je odločitev o elipsi prek njih bolj subjektivna. Ugotovili smo, da je tudi neposredno merjenje na strelni poškodbi po metodi elipse ustrezno za uporabo. Ima pa merjenje prek fotografije to prednost, da je z ustrezno fotografijo (pravokotno na ravnino poškodbe in z ohranjanjem razmerja) lažje ponovljivo. Poleg tega je primerna za vse kote s primernim razponom napake in če ti razponi napak ustrezajo potrebi za nadaljnje analize. Pri uvodni metodi postane merjenje zahtevnejše, ko se pri višjih vpadnih kotih začne uvodni del krajšati in je težko stabilizirati palico, hkrati pa nanjo postaviti inklinometer. Hitro pride do večjih napak, zato v takih primerih svetujemo pomoč pri merjenju. Če merilec palice ne more stabilizirati, potem ne glede na dolžino uvodnega področja tako merjenje odsvetujemo. Izkazalo se je, da uvodna metoda

ni več primerna za kote nad 45° . Ima pa prednost v tem, da je hitrejša, ne zahteva računanja in bolj spominja na klasično sondiranje s palico, zato je bolj intuitivna. Glede na ugotovitve v študijah in naše zaznane ugotovitve bi lahko uporabo tovrstnih metod priporočali predvsem pri manjših vpadnih kotih (do 20°) in z upoštevanjem merilne negotovosti vsaj $\pm 5^\circ$, pri čemer je večja verjetnost, da bo vpadni kot do 5° večji, do kotov 30° pa z upoštevanjem merilne negotovosti vsaj $\pm 10^\circ$. Uporaba je odvisna tudi od strelne situacije, če se predvideva razdalja strelca do nekaj metrov od mesta zadetka, potem se lahko uporabi eliptična metoda tudi za kote nad 30° , saj tudi z večjo napako lahko ustrezno omejimo mesto strelca. Če so razdalje daljše, ima lahko že napaka ene stopinje za posledico preširoko območje za natančnejšo rekonstrukcijo. Ker metodi nista zelo zamudni, priporočamo, da se merijo vpadni koti na oba načina. Tovrstni preizkusi v laboratoriju, čeprav niso tako obsežni kot obravnavane raziskave, prispevajo k razumevanju dinamike streljanja in razvijanju občutka za merjenje, saj je tudi ta, kot je bilo ugotovljeno v raziskavah, pomemben za boljše meritve. Zato bi bilo v prihodnje smiselno opraviti preizkuse še za druge pogoste kalibre na našem območju (7,65 mm Br, 7,62 TT in 7,62 x 39 mm) tudi na drugih materialih in kot merilce povabiti kriminalistične tehnike, ki so poleg balističnih forenzičnih strokovnjakov usposobljeni za opravljanje meritev strelnih poškodb.

5 Zaključek

Na ogledih strelskih dogodkov se pogosto srečamo prav s strelnimi poškodbami vozil. Kadar imamo zaporedni strelni poškodbi, povzročeni z enim strelom, je sondiranje s sondirno palico preprosto in od vseh metod najbolj zanesljivo, v primeru enojne strelne poškodbe pa lahko uporabimo eliptično ali uvodno metodo. V literaturi najdemo opise metod, niso pa preverjene, zato je bil namen pregleda člankov oziroma opravljenih študij, da primerjamo in ocenimo njihovo uporabnost ter zanesljivost. Natančnejše izmerjen kot streljanja pomeni tudi natančnejše določeno stojišče strelca oziroma v kombinaciji z drugimi ugotovitvami tudi lažje prepoznavno dinamiko poteka strelskega dogodka.

V študijah je bilo ugotovljeno splošno pravilo, da sta obe preučevani metodi zanesljivejši pri manjših vpadnih kotih, z večjim vpadnim kotom pa se večja tudi absolutna napaka. Eliptična metoda je spet zanesljivejša pri kotih blizu pravega kota, medtem ko uvodna metoda tam ni več uporabna, ker je uvodno področje premajhno za stabilizacijo sondirne palice. Opazili smo tudi trend, da so izmerjeni koti večinoma podcenjeni.

Metodi smo med sabo lahko primerjali pri podobnih parametrih obeh študij, to so strelivo kalibra 9 mm Luger, kroglja

naboja tipa FMJ in mase 115 grainov, ter pri vpadnih kotih 14°, 20° in 30°. Za zanesljivejšo se je izkazala uvodna metoda, prav tako se je pokazal v prejšnjem odstavku omenjen generalni vzorec napak.

Tudi s preizkusom smo prišli do podobnih ugotovitev, le da zanesljivost uvodne metode ni bila tako očitna, saj so bile razlike v napakah obeh metod pri kotih 14°, 20° in 30° minimalne. Kot prednost smo pri eliptični metodi prepoznali to, da je z ustrezno fotografijo (pravokotno na strelno poškodbo in z ohranjanjem razmerij fotografije) meritve ponovljiva, s primernim razponom napake pa je primerna za vse vpadne kote, kot slabost pa to, da je predvsem pri nesimetričnih strelnih poškodbah to težje umestiti v ustrezno elipso, odločitev o tem je bolj subjektivna in prej pride do večjih napak. Prednost uvodne metode je, da bolj spominja na klasično sondiranje, je hitrejša in ni potrebno računanje. Ni pa več uporabna, ko uvodno področje postane manjše od 3 mm, to je približno pri kotih, večjih od 45°.

Ker za merjenje enojnih strelnih poškodb ni drugih bolj učinkovitih metod, lahko obravnavani metodi priporočimo za uporabo predvsem pri vpadnih kotih, ki so manjši od 20°, in z uporabo razpona napake vsaj $\pm 5^\circ$, pri čemer je veliko večja verjetnost, da bo vpadni kot 5° večji, do kotov 30° pa z upoštevanjem merilne negotovosti vsaj $+10^\circ$. Pri kotih med 30° in kotih blizu pravega kota se lahko eliptična metoda uporabi, če se predvideva relativna bližina (nekaj metrov) strelca in z upoštevanjem veliko večjega razpona napake. Pri eliptični metodi je treba paziti na pravilen zajem fotografije in da ne uničimo njenega razmerja, pri uvodni pa na stabilizacijo sondirne palice in na previdno ravnanje z inklinometrom, da sondirne palice s pritiskom še dodatno ne nagnemo. Če sondirne palice ni mogoče stabilizirati, potem ne glede na dolžino uvodnega področja odsvetujemo uporabo uvodne metode. Boljše rezultate v raziskavah so pokazali bolj izkušeni merilci, zato priporočamo več preizkusov, v katerih sodelujejo skupaj s kriminalističnimi tehnikami, da bi tako razvili občutek za merjenje. V sestavi policije so za meritve strelnih poškodb ustrezno usposobljeni balistični strokovnjaki iz forenzičnega laboratorija in kriminalistični tehniki. Kot priporočilo bi dodali še, da se lahko po eliptični metodi meri tudi neposredno na poškodbi in da je na terenu smiselna uporaba obeh metod, saj nista zamudni. Večinoma se v praksi še vedno opravljajo meritve fizično in se za zdaj 3D-skeniranje in merjenje uporabljata vzporedno, prav tako tudi še ni preverjeno za enojne poškodbe, zato lahko pričakujemo, da se bodo v prihodnje opisane metode še uporabljale in da so dodatne raziskave smiselne.

Literatura

1. Association of Firearm and Tool Mark Examiners. (2013). *Glossary of the Association of Firearm and Tool Mark Examiners*. <https://forensicresources.org/wp-content/uploads/2021/07/AFTE-Glossary-06-25-2021.pdf>
2. Backman, M. E. in Goldsmith, W. (1978). The mechanics of penetration of projectiles into targets. *International Journal of Engineering Science*, 16(1), 1–99.
3. Balthazard, V., Piédelièvre, R., Desoille, H. in Dé Robert, L. (1939). Étude Des Gouttes de Sang Projeté. V *XXII Congrès De Médecine Legale de langue Francaise, Paris, 5, 6 et 7 Juin 1939*. <https://static1.squarespace.com/static/543841fce4b0299b22e1956a/t/54be97ede4b0d16cfa153dcd/1421776877652/Balthazard+et.al.+1939.pdf>
4. Burke, T. W. in Rowe, W. F. (1992). Bullet ricochet: A comprehensive review. *Journal of Forensic Sciences*, 37(5), 1254–1260.
5. Fossati, R. M. (2017). *Characterization of projectile's interaction on thin metal plates*. Politecnico.
6. Gardner, R. M. in Bevel, T. (2009). *Practical crime scene analysis and reconstruction* (1st ed.). CRC Press.
7. Haag, L. (2005). *Shooting incident reconstruction*. Academic Press.
8. Haag, M. (2008). The accuracy and precision of trajectory measurements. *AFTEJ*, 40(2), 145–182.
9. Haag, M. in Haag, L. (2011a). Projectile ricochet and deflection. V M. Haag in L. Haag (ur.), *Shooting incident reconstruction* (2nd ed.) (str. 143–175). Academic Press.
10. Haag, M. in Haag, L. (ur.). (2011b). *Shooting incident reconstruction* (2nd ed.). Academic Press.
11. Hueske, E. E. (2006). *Practical analysis and reconstruction of shooting incidents*. CRC Press.
12. Li, Q. M. in Chen, X. W. (2001). Penetration and perforation into metallic targets by a non-deformable projectile. V L. Zhang (ur.), *Engineering plasticity and impact dynamics* (str. 173–192). World Science.
13. Liscio, E. in Imran, R. (2021). Angle of impact determination from bullet holes in a metal surface. *Forensic Science International*, 317(Dec.), 110504. <https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2020.110504>
14. Liscio, E. in Park, J. (2021). The lead-in method for bullet impacts in metal panels. *Forensic Science International*, 326(Sep.), 110914. <https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2021.110914>
15. Mattijssen, E. J. in Kerkhoff, W. (2016). Bullet trajectory reconstruction – Methods, accuracy and precision. *Forensic Science International*, 262(May), 204–211. <https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2016.03.039>
16. Rusinek, A., Rodriguez-Martinez, J. A., Arias, A., Klepaczko, J. R. in Lopez-Puente, J. (2008). Influence of conical projectile diameter on perpendicular impact of thin steel plate. *Engineering Fracture Mechanics*, 75(10), 2946–2967.

Suitability of Methods for Determining the Angle of Bullet Impact on Sheet Metal

Katarina Walland, Physical Examination Section, National Forensic Laboratory, General Police Directorate, Slovenia.
E-mail: katarina.walland@policija.si

When a crime scene involves a shooting, measurements of bullet impacts are a mandatory part of the investigation. Measurements include determining the location of the bullet impact (measurement of coordinates) and the angle of incidence of the shooting. In addition to measuring the angle of incidence with a probing rod, which is the most reliable, the lead-in and elliptical methods are also suitable for use and have the advantage that they come into consideration when we have only a single bullet impact. Such impacts are common when shooting at a vehicle due to its construction. Descriptions of these methods can be found in the literature, but they are not validated; therefore, our purpose was to check the applicability of the methods and their accuracy. In reviewing prior studies, the methods were tested with different calibres and types of bullets, and at different firing angles. Measurements were performed by forensic experts with varying levels of experience and also by students without prior knowledge of measurement. It was shown that the errors are generally less at smaller angles of incidence, up to 20°, the largest at intermediate angles, and then smaller again at angles close to right angles. The lead-in method presented an exception as it is not useful for angles close to a right angle due to too the small lead-in area. Some error patterns are observed. In the lead-in method, they also introduced correction factors based on trend curves, which significantly corrected the results and significantly reduced measurement errors. We compared methods with for matching parameters (weapon type, calibre, shooting angle) and detected minor measurement errors in the lead-in method. Then we performed a small test for both methods and came to similar conclusions as seen in the previous studies reviewed.

Keywords: ballistics, shooting reconstruction, angle of incidence, lead-in method, ellipse method

UDC: 343.983