



Metodika certifikácie 3D dokumentácie

aPrehliadky · verzia metodiky 2 (september 2026, aPrehliadky 3.0) · forensika.eu

Certifikát 3D dokumentácie je záznam o tom, ako sken vznikol (stopa snímania), čím je doložená jeho mierka (overenia) a čo presne certifikuje (hashe súborov). Vydáva ho aplikácia k hotovému modelu; existuje ako certificate.json v balíku .f3d a ako PDF pre spis. Certifikát nič nedopočítava — každá hodnota v ňom je z manifestu relácie alebo z hashu súboru.

Certifikát nie je metrologická kalibrácia zariadenia a nenahrádza odborný úsudok. Hovorí, koľkými nezávislými cestami je mierka modelu doložená a s akým výsledkom.

1. Zdroje mierky a ich nezávislosť

Zdroj	Čo meria	Nezávislý od
LiDAR hĺbka (time-of-flight)	vzdialenosť každého bodu obrazu od kamery; fotogrametria dostane hĺbkový prior — mierku modelu však nezaručí (audit 3.0: ten istý sken vyšiel o 6 % a o 14 % menší)	fotogrametrie, operátora
Fit trajektórie kamery (ARKit → model)	podobnostná transformácia medzi pozíciami kamier z ARKitu (IMU + vizuálna odometria + LiDAR, metrické) a pózami z fotogrametrie; od 3.0 primárny zdroj mierky merania (koeficient $1/k$, neistota $u(k) = \sqrt{((\sigma/(r \cdot \sqrt{n}))^2 + 0,5 \%)^2}$)	LiDAR hĺbky vo fotogrametrii, terča
Terč T3 v modeli	stredy kruhových fiduciálov ($\varnothing$ 24 mm, základňa 247 × 160 mm) sa nájdu v každom snímku a z póz fotogrametrie triangulujú priamo v ráme modelu; 10 vzdialeností (33–294 mm) vs. referencia × mierka tlačie → k s neistotou (~0,1–0,3 %)	LiDARu aj trajektórie ARKitu; overuje fotogrametriu
Etalón	operátor v modeli zmeria úsek známej dĺžky (100 mm škála terča, pravítko) a zadá skutočnú hodnotu	LiDARu, ARKitu; závisí od operátora
Terč (LiDAR) — T2 aj T3	stredy fiduciálov sa z LiDAR hĺbky a pózy kamery prepočítajú do 3D; vzdialenosti sa porovnávajú s referenciou z tlačie	fotogrametrie, operátora; overuje reťazec LiDAR + ARKit

Mierka merania = fúzia trajektórie a terča v modeli (inverzné váženie neistotou); ich rozdiel je nezávislé overenie. Každé meranie nesie rozšírenú neistotu U ($k = 2$) z neistoty mierky a polohy bodov (prst 1,7 mm, Apple Pencil 0,5 mm, myš 0,2 mm, + rozlíšenie snímku). Terč T3 slúži aj na validáciu aplikácie a zariadenia: rovnaký terč, rovnaký postup, viac skenov a zariadení → rozdelenie chýb je materiál do validačnej štúdie (docs/VALIDACIA_protokol.md). Výtlačok sa overí posuvným meradlom (stredy A–B = 247,00 mm) a hodnota sa zadá v aplikácii.

2. Trieda dokumentácie

Trieda	Podmienky	Význam
A — metrologicky overená	LiDAR hĺbka pri ≥ 90 % snímkov a mierka korigovaná metrologickým fitom trajektórie (reziduál < 25 mm, ≥ 50 kamier) a nezávislé overenie (etalón, terč LiDAR alebo terč v modeli) s chybou ≤ 1 % (alebo dve nezávislé overenia)	merania doložené dvoma nezávislými cestami; hodnoty závažné v rozsahu neistoty U
B — metrická	mierka korigovaná metrologickým fitom trajektórie alebo LiDAR mierka potvrdená etalónom/terčom; nezávislé overenie chýba alebo je ≤ 2 %	model je metrický, chýba druhý dôkaz — do protokolu uviesť „bez etalónu“

Trieda	Podmienky	Význam
C — orientačná mierka	mierka známa len približne: LiDAR bez korekcie fitom (reálne 6–14 % chyba) alebo koeficient z trajektórie bez LiDARu; overenie $\leq 5\%$	hodnoty orientačné; pred citovaním v posudku doplniť etalón
D — neoverená mierka	mierka nie je doložená (bez LiDARu a bez dôveryhodného fitu) alebo overenie $> 5\%$	len názorná dokumentácia

„Dôveryhodný fit“ = reziduál / mierka < 150 mm, ≥ 8 kamier (stačí na orez). „Metrologický fit“ = reziduál / mierka < 25 mm, ≥ 50 kamier (stačí na korekciu mierky; reálne skeny: 7,6–8,5 mm pri 158–198 kamerách). „Nezávislé overenie“ = najmenšia z chýb etalónu, terča z LiDARu a rozdielu terč v modeli vs. trajektória; terč z LiDARu sa uzná pri ≥ 3 vzdialenostiach a ≥ 5 pozorovaniach na fiduciál. Trieda sa počíta rovnakou funkciou v protokole aj v certifikáte, takže obidva dokumenty sú vždy konzistentné.

3. Stopa snímania

Z metadát snímok (póza kamery, čas, hĺbka) certifikát uvádza: začiatok a koniec, trvanie, počet snímok a snímok s hĺbkou, rozlíšenie, pokrytie (azimuty z 36, výškové pásma z 3), dĺžku dráhy kamery, rozsah a priemer vzdialenosti kamery od stredu skenu, počet snímok s platne nájdeným terčom. V PDF je pohľad zhora: dráha kamery, snímky, stred skenu a 3D polohy fiduciálov. Stopa dokladá, že sken bol snímaný podľa postupu (tri výšky, obídenie dokola, primeraná vzdialenosť) — a odhalí sken, ktorý ním nebol.

4. Certifikovaný obsah a integrita

- SHA-256 modelu (model/model.usdz), meshu okolia (model/room.usda) a nálezov (annotations.json) v čase vydania; počet nálezov a meraní.
- SHA-256 archívneho balíka, ak bol sken archivovaný.
- payloadSHA256 = SHA-256 kanonických bajtov certifikátu (kľúče zoradené, ISO 8601 dátumy, bez medzier). Každá zmena certifikátu hash zneplatní.
- Podpis (Pro): ECDSA P-256 / SHA-256 kľúčom zariadenia (Secure Enclave, keď je dostupná) nad kanonickými bajtmi; v certifikáte je verejný kľúč (X9.63), podpis (DER), čas, podpisujúci, pracovisko a odtlačok kľúča (prvých 8 bajtov SHA-256 verejného kľúča).
- Identifikátor F3D-XXXXX-XXXXX = SHA-256(ID relácie + hash modelu + čas vydania). QR kód v PDF: F3D:<ID>:<trieda>:<prefix hashu modelu>:<ID relácie>.

5. Overenie certifikátu

- 1 V aplikácii: importujte balík .f3d. Import overí hashe všetkých súborov, podpis balíka (ak je) a certifikát: neporušenosť obsahu, zhodu hashu modelu s modelom v balíku a podpis certifikátu. Výsledok je v prehľade relácie („Certifikát v balíku — platný“) a v protokole.
- 2 Bez aplikácie: `unzip -p sken.f3d model/model.usdz | shasum -a 256` musí dať hash z certifikátu; `unzip -p sken.f3d certificate.json` obsahuje certifikát, jeho payloadSHA256 a podpis; verejný kľúč a podpis overí ľubovoľná knižnica ECDSA P-256 nad kanonickými bajtmi.
- 3 QR kód v PDF porovnajte s ID a hashom v balíku.

6. Validácia zariadenia — odporúčaný postup pre štúdiu

- 1 Vytlačte terč T3 v mierke 100 % (A4 na šírku), nalepte na tvrdú podložku, overte posuvným meradlom stredy kruhov A–B (247,00 mm) a zadajte hodnotu v aplikácii; odchýlka tlače $> 0,5$ mm → nový výtlačok.

- 2 Terč naplocho, matný podklad, difúzne svetlo. Nasnímajte ≥ 10 skenov profilu Predmet, rozsah Detail, vzdialenosť 0,3–0,6 m, tri výšky, na každom zariadení.
- 3 Z každého skenu exportujte Validačný CSV (Export → Validačný CSV): mierku a neistotu z trajektórie, z terča v modeli a ich rozdiel, chybu terča z LiDARu, ostrosť, triedu a všetky merania s U.
- 4 Vyhodnoťte priemer, SD a 95. percentil chýb podľa zariadenia a vzdialenosti; kritérium triedy A ($\leq 1\%$) sa má splniť v $\geq 95\%$ skenov.
- 5 Väčšie rozmery (dĺžka tela) validujte etalónom 500–1000 mm (meracie pásmo, dve značky) — etalón v protokole.

7. Obmedzenia

- Hĺbka LiDARu má rozlíšenie 256×192 px; presnosť stredu fiduciálu je $\sim 1\text{--}3$ mm na 0,5 m, klesá so vzdialenosťou a pri šikmom pohľade. Preto medián z mnohých snímok a vyradenie odľahlých.
- Terč z LiDARu overuje reťazec LiDAR + ARKit; mierku fotogrametrického modelu dáva fit trajektórie a terč triangulovaný v modeli (fúzia). Certifikát uvádza všetky cesty oddelene.
- Farebné polia terča sú orientačné; farebne záväzná dokumentácia vyžaduje komerčný ColorChecker.
- Certifikát potvrdzuje stav v čase vydania; neskoršie nálezy a merania menia hash nálezov — po úpravách vydajte nový certifikát.